



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH ZKUŠEBNÍHO ZAŘÍZENÍ/METODY PRO RYCHLÉ OVĚŘENÍ KVALITY SVAROVÉHO SPOJE

PROPOSAL OF TEST EQUIPMENT/METHOD FOR QUICK VERIFICATION OF QUALITY OF WELDED JOINTS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Václav Zejda

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Jaroslav Kubíček

BRNO 2017

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Václav Zejda**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojního inženýrství
Vedoucí práce: **Ing. Jaroslav Kubiček**
Akademický rok: 2016/17

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č. 111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Návrh zkušebního zařízení/metody pro rychlé ověření kvality svarového spoje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Pro výrobu kulových čepů stabilizátorů osobních automobilů se používá odporové svařování kuličky a dřívku. V současné době se používají dlouhodobé testy, které ověří kvalitu svarového spoje na základě počtu dosažených cyklů.

Cíle bakalářské práce:

1. Přehled současného stavu poznání svařitelnosti ocelí a odporového svařování.
2. Formulace řešeného problému a jeho technická a vývojová analýza.
3. Návrh metodického přístupu, variant řešení a výběr optimální varianty.
4. Provedení experimentu a ověření zkušebního zařízení na rychlou zkoušku kvality spoje.

Seznam doporučené literatury:

PTÁČEK, L. a kol.: Nauka o materiálu I. 2. opr. a rozš. vyd., Brno, CERM, 2003. ISBN: 80-7204-283-1

ČSN EN 10045-1. Kovové materiály - Zkouška rázem v ohybu podle Charpyho - Část 1: Zkušební metoda (V a U vruby), Praha: ČNI, 1996. 24 s.

PILOUS, Václav. Materiály a jejich chování při svařování, 1 vyd. ŠKODA-WELDING, Plzeň, 2009

KOUKAL, J. a KOLEKTIV AUTORŮ. Materiály a jejich svařitelnost, 1 vyd. Zeross, Ostrava 2001, 292s. ISBN 80-85771-85-3

AMBROŽ, O. a KOLEKTIV AUTORŮ. Technologie svařování a zařízení, 1 vyd. Zeross, Ostrava 2001, 395 s. ISBN 80-85771-81-0

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2016/17

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

ZEJDA Václav: Návrh zkušebního zařízení/metody pro rychlé ověření kvality svarového spoje

Tato bakalářská práce se zabývá návrhem a výběrem vhodné metody pro rychlé ověření svarového spoje kulového čepu stabilizátoru osobních automobilů vytvořeného metodou odporového svařování. První, teoretická, část je věnována odporovému svařování. Druhá část se zabývá popsáním výroby a zkoušení konkrétní součásti. Poslední část obsahuje vlastní návrhy a posouzení vhodnosti použití jednotlivých konstrukčních řešení jednoduchých mechanických zařízení pro ověření kvality svarového spoje. Doporučeno je využít metodu Charpyho kladiva, na jejímž základě bylo navrženo speciální testovací zařízení.

Klíčová slova: kulový čep, kyvadlo, odporové svařování, testovací zařízení

ABSTRACT

ZEJDA Václav: Proposal of a test equipment/method for quick verification of quality of welded joints

This bachelor's thesis is dealing with the proposal and the choice of the proper method for quick check of weld seams of ball pivot of automobile stabilizers created by the resistance welding method. The first, theoretical part deals with the resistance welding. The second part deals with a description of the production process and testing of the particular component. The last part contains personal proposals and an assessment of the suitability of use of each construction solution of simple mechanical devices for quality checking of the weld seam. The recommended method to use is the Charpy impact test which served as the base for designing the special test device.

Keywords: ball joint, pendulum, resistance welding, testing device

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ZEJDA, Václav. *Návrh zkušebního zařízení/metody pro rychlé ověření kvality svarového spoje*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017. 43 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Jaroslav Kubíček.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 26. 5. 2017

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Jaroslavu Kubíčkoví za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat firmě THK za možnost zpracovávat tuto práci na její podnět, zvláště pak panu Ing. Martinu Kadlecovi za jeho cenné rady, zkušenosti a ochotný a vstřícný přístup při konzultacích. V neposlední řadě děkuji i rodině a svým blízkým za podporu během studia.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

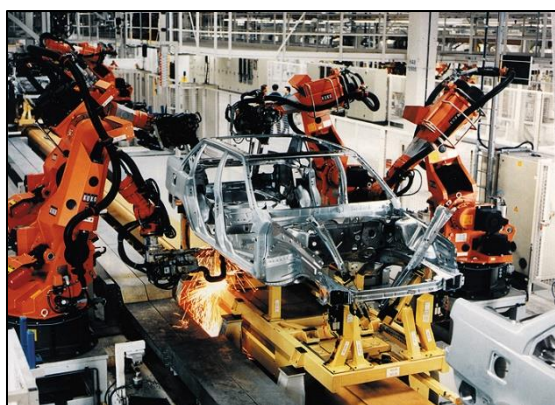
	Str.
Úvod	10
1 Rozbor zadání	11
1.1 Představení firmy THK	12
2 Odporové svařování	13
2.1 Odporová svařitelnost	14
2.2 Odpor při odporovém svařování	14
2.3 Elektrody pro odporové svařování	16
2.4 Rozdělení odporového svařování	16
2.5 Zkoušky svarů vytvořených odporovým svařováním	18
3 Popis funkce, výroby a zkoušení čepu	19
3.1 Funkce kulového čepu ve stabilizátoru	19
3.2 Výroba čepu	20
3.3 Současné zkoušení čepu	21
4 Návrh metod zkoušení a výběr optimální varianty	22
4.1 Metoda s pohybovým šroubem a momentovým klíčem	22
4.2 Metoda testování padostrojem	24
4.3 Metoda Charpyho kladiva	25
4.4 Výběr optimální varianty	27
5 Návrh testovacího zařízení	28
5.1 Základní parametry testovacího zařízení	28
5.2 Kladivo	29
5.3 Tyč kyvadla	31
5.4 Typ a rozměry zvedacího ústrojí kyvadla	32
5.5 Pojistka proti náhlému uvolnění kyvadla	34
5.6 Hřídel kyvadla	34
5.7 Hřídel klíčky	38
5.8 Uložení hřídele kyvadla a hřídele klíčky	39
5.9 Rám zařízení	39
5.10 Zajištění kyvadla ve výchozí poloze	40

5.11	Měření nárazové práce	40
5.12	Upínání zkušební vzorku	41
5.13	Brzda kyvadla.....	41
5.14	Zhodnocení návrhu zkušebního zařízení	42
Závěr.....		43
Seznam použitých zdrojů		
Seznam použitých symbolů		
Seznam obrázků		
Seznam tabulek		
Seznam příloh		
Seznam výkresů		

ÚVOD [1], [2], [3]

Automobilový průmysl je pravděpodobně nejobsáhlejším odvětvím strojírenské výroby. Zahrnuje nejen všechny automobilky, ale i všechny subdodavatele apod. S automobilovým průmyslem je v dnešní době alespoň z části provázáno obrovské množství strojírenských, ale i jiných firem. Celé provozy pro výrobu a montáž součástí do automobilů jsou automatizovány, proto je například zapotřebí i odborníků z oblasti elektrotechniky a počítačových technologií. Dále je potřeba zajistit ekonomický chod, logistiku, reklamu vyrobených aut apod. Na toto odvětví je tedy napojena celá řada dalších odvětví. Statistici uvádí, že na celém světě přímo v autoprůmyslu pracuje přibližně 8,5 milionu lidí, ale počet lidí napojených na něj je ještě mnohonásobně vyšší.

K výrobě součástek do automobilů se používá celá řada strojírenských technologií. Mezi ty tradiční můžeme zařadit třískové obrábění, odlévání, tváření a svařování. S technickým pokrokem však vznikají technologie buď úplně nové nebo inovováním z postupů a metod již známých. Při výrobě aut je mimo jiné hojně využíváno svařování. Tuto technologii lidstvo zná již od nepaměti, ale klasické metody dnešní doby se začaly vyvíjet v 19. století a na jeho konci byla objevena i metoda svařování elektrickým odporem. Od té doby samozřejmě prošla zdoluhavým vývojem, ale princip je pořád stejný. Teplo vzniklé odporem na přechodu součástí je možno využít k jejich natažení a následnému svaření. V automobilovém průmyslu se používá například k výrobě karoserií, ale i jiných dílů. Se specifiky odporového svařování souvisí i zkoušení vytvořených svarů. Normami je předepsána celá řada různých zkoušek. Ty však samozřejmě nemohou postihnout všechny případy vyráběných součástí, a proto se ve společnostech vyvíjí zkoušky nové, určené ke zkoušení konkrétních komponentů.



Obr. 1 Ukázky z výroby automobilů [1], [2], [3]

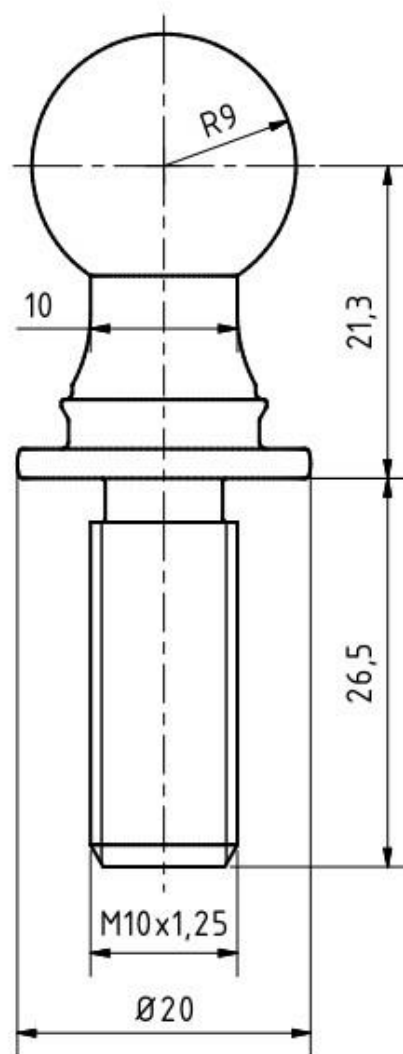
1 ROZBOR ZADÁNÍ [4]

Ve společnosti THK RHYTHM AUTOMOTIVE a. s. (dále jen THK) se sídlem v Dačicích se v současnosti vyrábí kulové čepy do táhel stabilizátorů předních náprav osobních automobilů metodou odporového svařování. Kulový čep je svařen ze dvou dílů – kulové hlavy a dříku. Kulová hlava musí být otěruvzdorná, proto se vyrábí ze zakalené kuličky. Dřík naopak namáhán na otěr není, a tak se vyrábí z tepelně nezpracované konstrukční oceli a je ošetřen povrchovou úpravou. Metoda odporového svařování je produktivnější než metoda klasická, kdy jsou čepy obráběny z kovaného polotovaru. Navíc díky ní lze s výhodou využít různých mechanických vlastností kuličky a dříku, na něž jsou kladeny odlišné požadavky. Nevýhodou svařovaných čepů ovšem je omezená pevnost, která nedosahuje tak vysokých hodnot jako u čepů obráběných.

Čepy zhotovené svařováním jsou v současnosti podrobovány dvěma typům zkoušek předepsaných zákazníkem. První zkouškou je podélný rozřez čepu a měření tvrdosti na úsečce směřující od kuličky přes svar a tepelně ovlivněnou oblast do dříku. U kvalitního svaru na této úsečce nedochází k výraznému nárůstu tvrdosti do vyšších hodnot. Druhou zkouškou je tzv. fatigue test, tedy testování na únavu. Testovaný kus je cyklicky zatěžován střídavým ohybem do vzniku lomu. Tvrdost je měřena na jednom kusu týdně a únavová zkouška se provádí na třech kusech za týden. Vzorky jsou získávány náhodným výběrem.

Současné zkoušky svarového spoje jsou značně časově náročné. Při měření tvrdosti je potřeba si nejdříve vzorek připravit, aby byly naměřeny správné hodnoty. Zkoušení na únavu je zdlouhavé kvůli počtu cyklů, které proběhnou, než dojde k prasknutí. Obvykle to bývá doba kolem osmi hodin. Obě metody a jejich časová náročnost jsou však z hlediska potřeb firemního oddělení kvality značně nepraktické. Je potřeba testovat každý první vyrobený kus po zapnutí stroje, popřípadě po jakékoliv změně výrobních parametrů. Těmito parametry rozumíme změnu svařovacího proudu nebo času, přitlačné síly, výměnu elektrody apod.

Z uvedených důvodů byl vznesen oddělením kvality požadavek na zhotovení nového zařízení/metody pro testování kvality svaru kulového čepu. Hlavním požadavkem na nové zkušební zařízení je co největší rychlost, s jakou dokáže zkoušku vykonat a následně zpracovat výsledky zkoušení. Dále by mělo být jednoduché na obsluhu, pokud možno mechanické, a ne příliš velké a robustní. Úkolem je vytvořit více variant konstrukčního řešení, ze kterých bude vybrána varianta optimální.



Obr. 2 Základní rozměry kulového čepu [4]

1.1 Představení firmy THK [4]

Strojírenství mělo v Dačicích dlouholetou tradici, což byl jeden z hlavních důvodů, proč se v roce 1961 začala na okraji města stavět nová továrna původně určená k výrobě chladících zařízení. V roce 1965 se ale vedení rozhodlo přeorientovat na výrobu součástí pro automobilový průmysl a o tři roky později se zde začaly vyrábět díly do řízení osobních automobilů Škoda. V sedmdesátých letech se dačická továrna stala součástí Prahy Praha a v letech osmdesátých se pak stala součástí podniku AVIA Praha.



Obr. 3 Letecký snímek továrny [4]

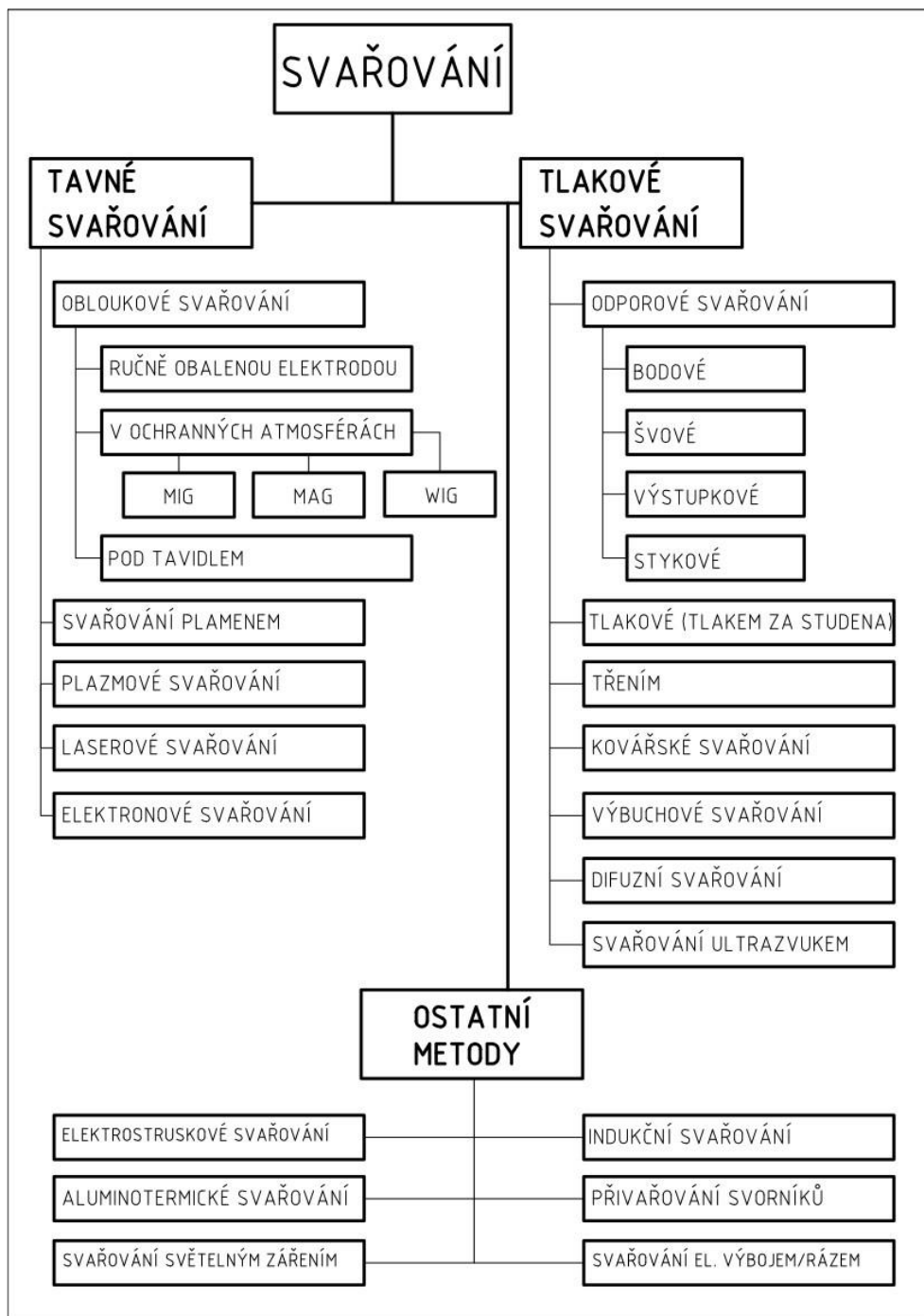
Po sametové revoluci se závod stal samostatným státním podnikem nazvaným jako DAS (dačické strojírně). Roku 1993 vstupuje mezi vlastníky nadnárodní společnost TRW ze Spojených států amerických. Postupně se stávala většinovým vlastníkem, až se v roce 2005 stala vlastníkem stoprocentním. Další důležitou skutečností v historii závodu bylo otevření inženýrského centra TSCD pro vlastní výzkum a vývoj. Po roce 2010 se postupně navyšovala výroba a bylo tak potřeba postavit 3 nové výrobní haly. Poslední důležitou skutečností je prodej továrny do rukou mezinárodní korporace THK za vzniku nové společnosti THK RHYTHM AUTOMOTIVE CZECH a. s. V současné době se společnost zaměřuje na výrobu prvků do podvozků osobních i nákladních automobilů. Nejvíce vyráběnými díly jsou kulové klouby OBJ, SBJ a IBJ, dále táhla řízení, ramena a táhla stabilizátorů. Mezi zákazníky patří největší světové značky výrobců automobilů jako je například Volkswagen, Ford, Scania nebo Audi.



Obr. 4 Vstupní brána továrny [4]

2 ODPOROVÉ SVAŘOVÁNÍ [5], [6], [7], [8], [9], [10], [11], [12], [13]

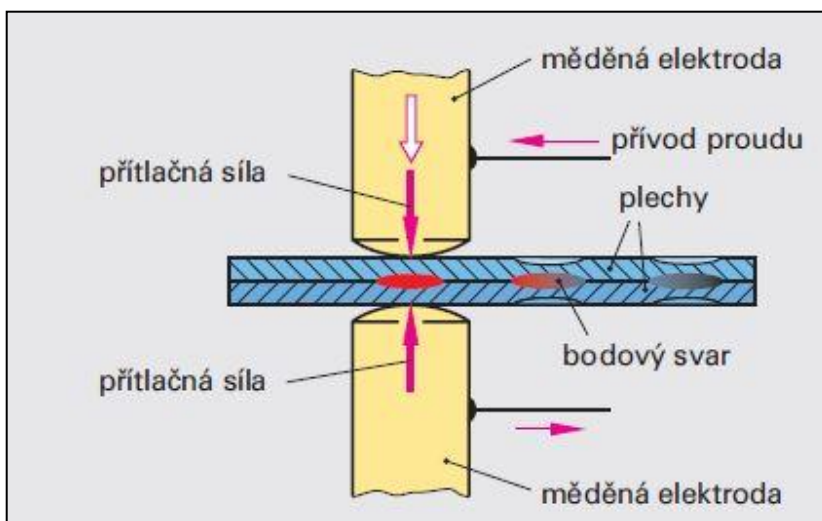
Svařování obecně je technologie, při které se snažíme ze dvou nebo více součástí ze svařitelných materiálů za působení tepla, tlaku, či kombinace obou vytvořit nerozebíratelný spoj. Svařování můžeme rozdělit do různých skupin a podskupin, viz obr. 5. Svařitelnost ocelí je podmíněná jejím chemickým složením. Podle vhodnosti materiálu ke svařování je dělíme na oceli se svařitelností zaručenou, podmíněně zaručenou, dobrou a obtížnou.



Obr. 5 Přehled svařování [11]

Svařování elektrickým odporem je specifickou odnoží svařování. Nepoužívá jako zdroj tepla chemické reakce při hoření plynu ani elektrický oblouk jako je tomu u běžných metod svařování, ale pro natavení součástí využívá přechodový odpor mezi svařovanými díly, jimiž

protéká svařovací proud. Tento odpor je řádově vyšší než odpor materiálu elektrod, základního materiálu a přechodový odpor mezi elektrodou a základním materiálem. Vzniklé teplo může svařované díly ohřát až do tekutého stavu, materiál obou dílů se tak promísí a po ukončení dodávky svařovacího proudu ochlazením vznikne svarový spoj. Pro lepší promísení kovu působí na svařované díly přitlačná síla vyvolána pohyblivou elektrodou. Při natavení základního materiálu nad teplotu tavení se kov svařovaných dílů působením této síly promísí a po přerušení dodávky proudu vzniká svar krystalizací tekuté fáze usměrněné tlakovou silou. Naopak pokud nedojde k nahřátí až nad teplotu tavení, spoj se vytvoří plastickou deformací - tzv. prokováním dílů. Z tohoto



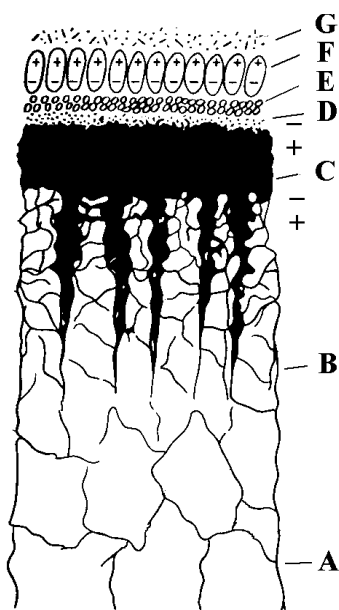
Obr. 6 Schéma bodového odporového svařování [13]

vyplývá, že při odporovém svařování není zapotřebí do místa svaru dodávat přídavný materiál. Taktéž není zapotřebí přivádět ani ochrannou atmosféru, jelikož svar nepřichází do styku se vzduchem. Základní schéma bodového odporového svařování je na obr. 6.

2.1 Odporová svařitelnost [5], [6]

Posuzuje se jako vhodnost materiálů vytvořit svar při použití technologie odporového svařování. Nejvíce je ovlivněna chemickým složením základního materiálu, stavem jeho povrchu a metalurgickými podmínkami během svařování. Svařovací proces určuje například elektrická a tepelná vodivost, hustota, měrná tepelná kapacita, mechanické vlastnosti materiálu a podobně. Stav povrchu ovlivňuje průchod svařovacího proudu a tím podmínky tvorby svaru.

2.2 Odpor při odporovém svařování [6], [8], [9]

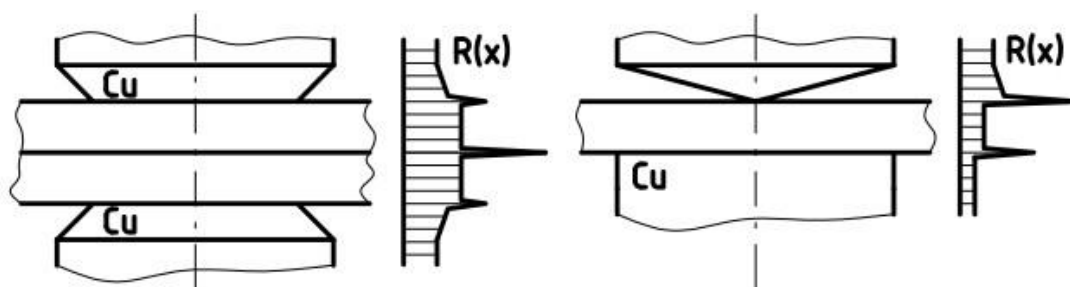


Přechodový odpor mezi součástmi je do značné míry řízen stavem povrchu výchozích polotovarů. Ten závisí například na způsobu výroby, chemickém složení, vlivu okolního prostředí apod. Obvykle je povrch kovových součástí vystaven okolním vlivům atmosféry a je tvořen

Obr. 7 Povrch kovu na vzduchu

- A – vrstva materiálu plasticky neformovaného
- B – povrchová vrstva plně dezorientovaných krystalů s mezivrstvami oxidů
- C – vrstva oxidů s charakteristickou polaritou vrchních vrstev kovu (polarita je označena jako + a -)
- D – adsorbční vrstva kyslíkových iontů a neutrálních molekul vzduchu
- E – vrstva molekul vody
- F – vrstva molekul tuků
- G – ionizované prachové částice [6]

několika vrstvami. Tyto vrstvy se vytvářejí v určitém pořadí, které je znázorněno na obr. 7. Někdy může dojít k prohození pořadí vrstev nebo k absenci některé z nich.



Obr. 8 Rozložení elektrického odporu při startu svařování [6]

Tím, jak se svařované součásti působením tlakové síly k sobě přibližují, dojde ke kontaktu povrchu kovů a následně k narušování jednotlivých vrstev. Po překonání vrstev oxidů dojde nejprve ke kontaktu mezi vrcholky neoxidovaného kovu, na kterých vzhledem k malé ploše styků vzniká velmi vysoké smykové napětí a dojde tak k plastické deformaci. Dalším stlačováním se styková plocha zvětšuje, až dojde ke kontaktu v celém průřezu mezi elektrodami. Tím zanikne přechodový odpor mezi součástmi. Proporcionální rozložení elektrického odporu při průchodu svařovacího proudu je znázorněno na obr. 8.

Průběh přechodového odporu svařovaných dílů se vlivem působící tlakové síly v čase mění. Mění se tedy i základní elektrické veličiny a množství vzniklého tepla v místě styku dílů můžeme popsat rovnicí 2.1.

$$Q = \int_0^{t_s} R(t) I^2(t) dt, \quad (2.1)$$

kde: Q – dodané teplo [J]

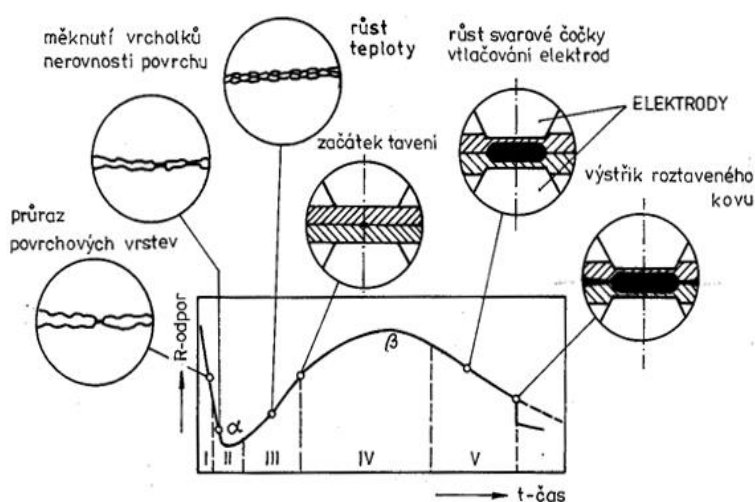
$R(t)$ – elektrický odpor [Ω]

$I(t)$ – elektrický proud [A]

t – čas [s]

t_s – svařovací čas [s]

Přechodový odpor mezi součástmi je jediným zdrojem tepla v místě svaru. Je výrazně závislý na teplotě a zároveň také na měrném tepelném odporu materiálů, jehož hodnoty záleží především na chemickém složení a teplotě, ale i na stavu materiálu. Na obr. 9 je znázorněn průběh hodnoty elektrického odporu v závislosti na čase a zároveň jsou na něm vykresleny jednotlivé fáze tvorby svarové čocky při bodovém odporovém svařování nízkouhlíkové oceli.



Obr. 9 Vývoj svarové čocky a časová závislost elektrického odporu pro nízkouhlíkovou nelegovanou ocel [6]

2.3 Elektrody pro odporové svařování [6]

K vytvoření dobrého svaru je za potřebí použít elektrody z kvalitních materiálů, na které jsou kladeny vysoké nároky. Musí mít dobrou elektrickou i tepelnou vodivost a zároveň být odolné mechanickému namáhání i při vysokých teplotách. Hlavně kvůli dobré elektrické a tepelné vodivosti se elektrody vyrábějí především ze slitin mědi. Pro případy, kdy jsou elektrody zatíženy vysokými teplotami (téměř vždy), jsou zevnitř chlazeny vodou.

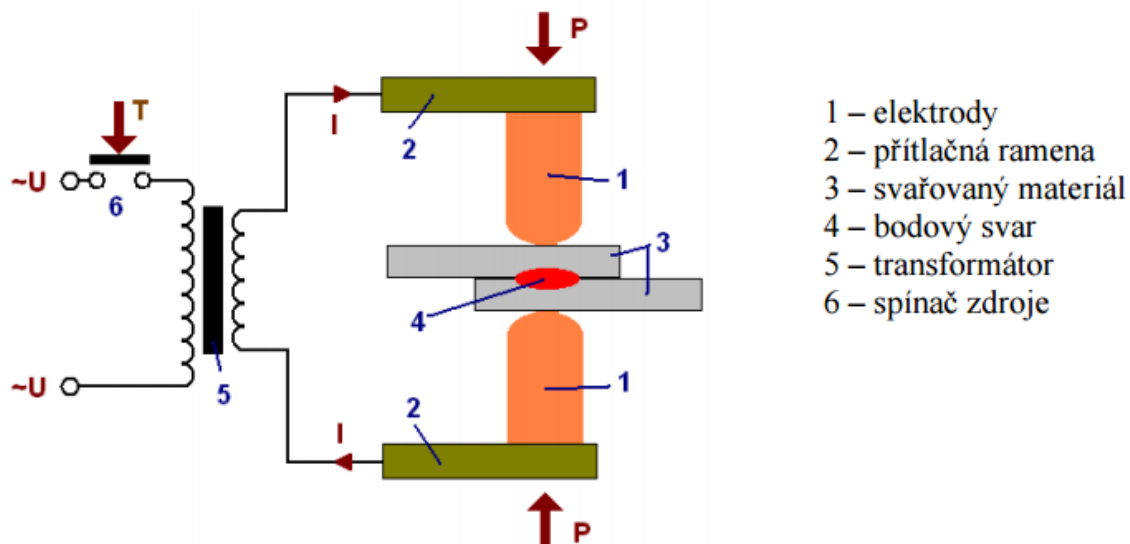
2.4 Rozdělení odporového svařování [5], [6], [12], [13]

Při odporovém svařování se využívá dvou svařovacích režimů. Měkký režim využívá nižších svařovacích proudů (do 5000 A) a menších přitlačných sil (do 1000 N) působících delší dobu (nad 0,5 s). Jako výhody měkkého režimu lze uvést nižší nároky na svářečky, nedochází k takovému opotřebení elektrod a je méně citlivý na rozdíly ve svařitelnosti materiálů. Naproti tomu jeho velkou nevýhodou je delší svařovací čas – nižší produktivita, vyšší spotřeba energie, hrubozrnná struktura svaru, svarová čoučka má menší rozměry a tvoří se kolem ní otlaky. Je vhodný pro svařování austenitických ocelí a různé opravy. Tvrdý režim využívá vysokých proudů i přitlačných sil působících kratší dobu. Je zapotřebí vysokých příkonů svářečky s robustnější konstrukcí a hrozí zakalení svaru. Výhodami jsou vysoká produktivita, jemnozrnná struktura svaru, vyšší pevnosti ve sřihu a menší deformace svaru. Režim je vhodný pro austenitické oceli a hliníkové slitiny.

Podle tvaru a uspořádání elektrod lze rozřídít odporové svařování na několik druhů:

- **Bodové svařování**

Jde o nejběžnější způsob svařování pomocí elektrického odporu. Svařovanými materiály jsou hlavně plechy, běžně v tloušťkách 0,4-10 mm, ale mohou být i tlustší. Svarový spoj se vytváří přímo v místě, kde jsou proti sobě umístěny elektrody, viz obr. 10.

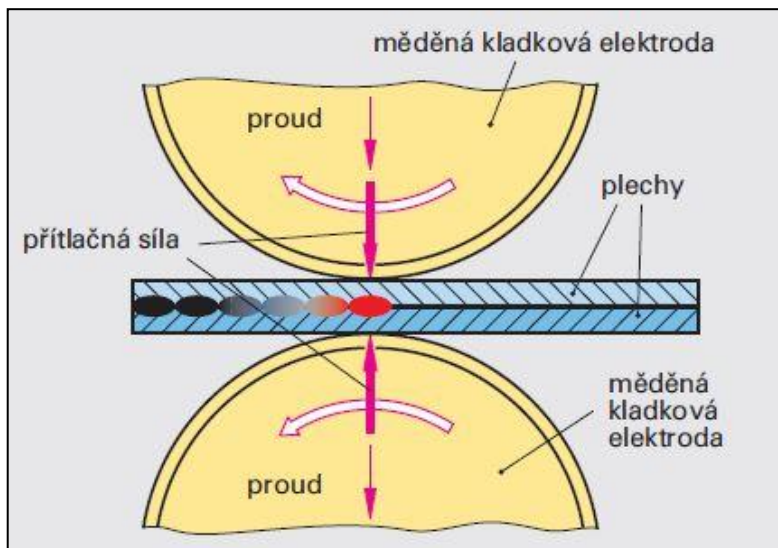


Obr. 10 Bodové svařování [12]

Samotný svar má tvar čoučky a podle jejích rozměrů se hodnotí kvalita spoje. Nahřátý materiál není díky působící tlakové síle v kontaktu se vzduchem a nemůže dojít k degradaci rozehřátého kovu oxidací. Hlavními parametry ovlivňujícími charakter, rozměry a kvalitu svarové čoučky jsou svařovací proud, svařovací čas a přitlačná síla. Bodové svařování nachází široké uplatnění v různých aplikacích. Například k bodování plechů při svařování plechových konstrukcí, při výrobě karoserií aut apod. a může být poměrně snadno automatizováno.

• Švové svařování

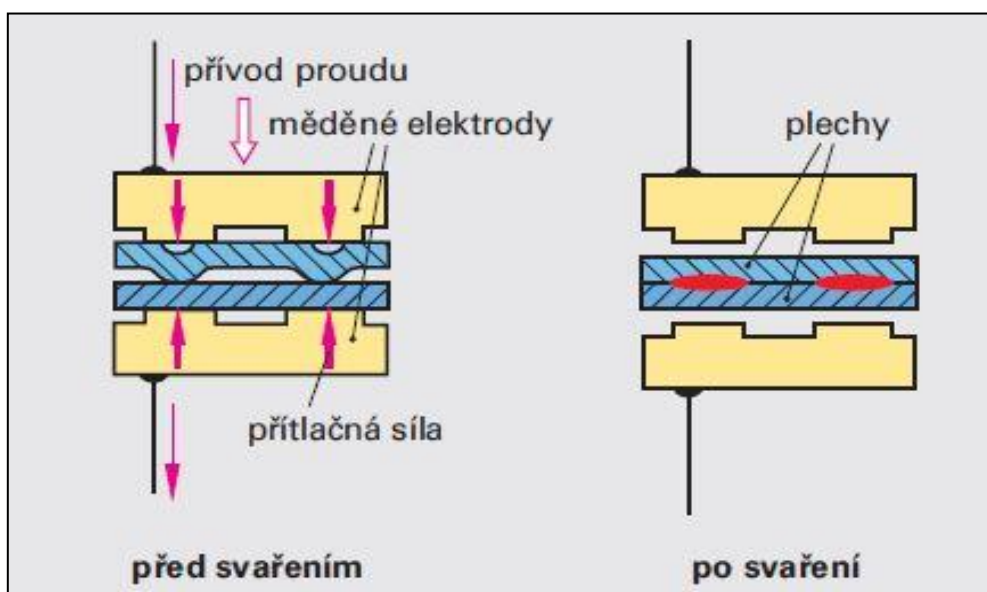
Na rozdíl od bodového svařování jsou elektrody při švovém svařování ve tvaru kotoučů. Ty se odvalují po svařovaném materiálu a vytváří kontinuální svar. Princip metody je stejný jako v předešlém případě a je znázorněn na obr. 11. Mezi hlavní parametry patří kromě svařovacího proudu a přitlačné síly i modulační nebo přerušování svařovacího proudu. Místo svařovacího času se uvádí svařovací rychlost. Pokud je nižší, je svařovací proud přerušován, aby nedocházelo k přehřívání místa svaru, což by zapříčiňovalo horší kvalitu svaru. Jako mezní hodnota se uvádí obvodová rychlost elektrod $6 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Oproti bodovému svařování je zapotřebí dosáhnout vyšší přitlačné síly i zvýšit hodnotu svařovacího proudu. Metoda se využívá například ke švovému svařování trubek či průběžnému svařování překládaných plechů.



Obr. 11 Švové svařování [13]

• Výstupkové svařování

U výstupkového svařování se využívá tvaru svařovaných součástí, na kterých jsou už přirozeně nebo záměrně vytvořeny výstupky, čímž je předem dána poloha svarů. Materiál se v místě styku materiálů ohřívá a popřípadě natavuje stejně jako u bodového svařování za současného působení tlakové síly. Elektrody jsou ve tvaru desek a dotýkají se svařovaných dílů v místech výstupků, popřípadě po celé ploše dílu. Záměrně vytvořeným výstupkům se někdy říká bradavky, které s natavením a stlačováním zanikají a součásti jsou tak ve styku po celé ploše, viz obr. 12. Hlavními parametry jsou svařovací proud, přitlačná síla a svařovací čas. Jde o výkonnou metodu vhodnou pro velkosériovou výrobu.



Obr. 12 Výstupkové svařování [13]

- **Stykové svařování**

Při stykovém svařování jsou v kontaktu celé styčné plochy svařovaných materiálů a svar se tak vytvoří po celé ploše. Tyto plochy je potřeba před svařováním obrobit, aby byly rovné a kolmé k ose upínání. Rozeznáváme stykové odporové svařování stlačovací a s odtavením. U stlačovacího dojde nejprve k stlačení materiálů a až poté je zapnut svařovací proud. Hlavními parametry je svařovací proud, přitlačná síla a svařovací čas. Při svařování s odtavením se součásti přiblíží, zapne se proud, vzniknou elektrické oblouky a tím se součásti ohřejí. Až po předehrátí dojde ke stlačení a vzniku svaru, který je po obvodu mírně vyboulen. Mezi hlavní parametry patří svařovací proud, odtavovací rychlost, délka odtavení, svařovací síla a svařovací čas. Stykové svařování nachází uplatnění například při svařování betonářských ocelí, svařování řetězů, nastavování drátů apod.

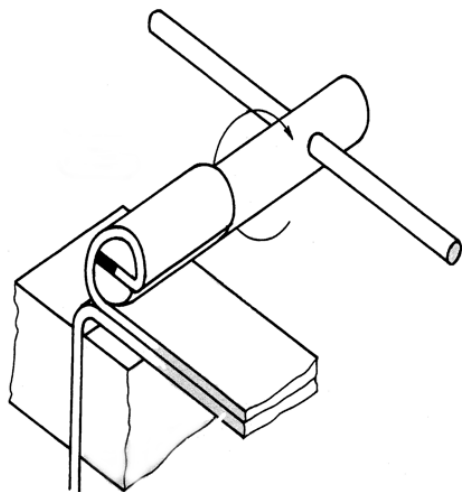
2.5 Zkoušky svarů vytvořených odporovým svařováním [7], [14]

Ještě před vznikem svaru se vzorky materiálu, určeného ke svařování, mohou podrobit celé řadě různých testů a zkoušek. Patří mezi ně hlavně metalografické šetření, testy makrostruktury a testy mikrostruktury. Po vyhodnocení těchto testů je možno posoudit vhodnost použití materiálu ke konkrétní metodě svařování. Dalšími testy jsou pak například testy mechanických vlastností, jako je zkouška Charpyho kladivem, měření tvrdosti, tahová zkouška atd.

Pro odporové svařování je normami předepsáno několik druhů speciálních zkoušek. Většinou se jedná o destruktivní zkoušky bodových svarů plechů. Jako příklad si můžeme přiblížit dvě z nich:

- **Sekáčová zkouška**

V tomto případě je mezi plechy v místě mezi dvěma svary vrážen sekáč. Ten může mít i vybrání podle průměru čocky svaru a působí tak na svar ze dvou stran, viz obr. 13. Po odlomení svaru je možno vyhodnocovat průměr svarové čocky, čistotu svaru, deformace, vady povrchu a charakter lomu. Při správném provaření by mělo dojít k vytržení svaru. Hlavní výhodou je to, že není zapotřebí složitých zařízení. Může být prováděna manuálně, ale i mechanicky, hydraulicky nebo pneumaticky



Obr. 13 Odlupovací zkouška [12]

poháněným sekáčem. Zároveň však vyžaduje zkušené pracovníky pro vyvození závěrů z provedené zkoušky. Nehodí se ke zkoušení vysokopevnostních ocelí a plechů s povrchovou úpravou a je také značně omezena tloušťkou plechů.



Obr. 14 Sekáčová zkouška [12]

- **Odlupovací zkouška**

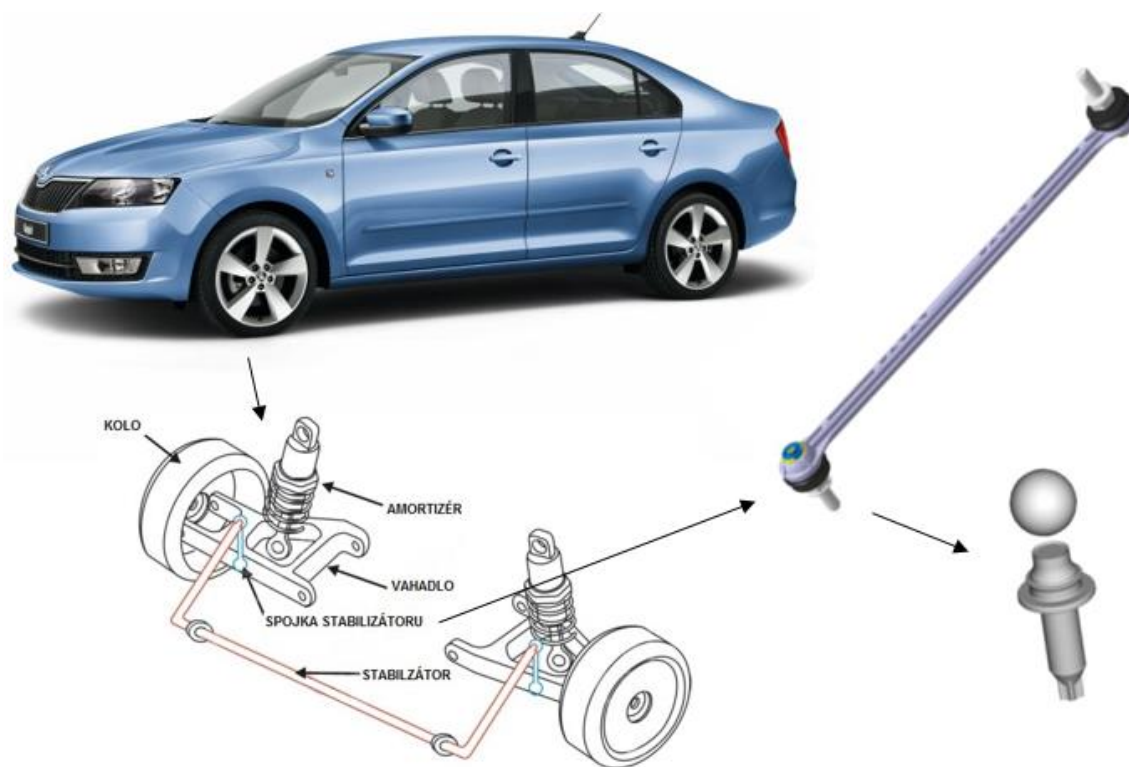
Jedná se o další destruktivní zkoušku svařených plechů s malou tloušťkou. Jeden plech je pevně upnut a druhý je navíjen na speciální upínací trn, viz obr. 14. Důležité je, aby vše probíhalo pomalu a vznikla tak plastická deformace a porušení. Zkoušený materiál musí být dostatečně tvárný, aby se mohl nabalovat na trn. U větších rozměrů plechu se používá strojní navíjení. Vyhodnocení svaru je identické se sekáčovou zkouškou. Metoda je vhodná pro zkoušení ocelí běžných jakostí.

3 POPIS FUNKCE, VÝROBY A ZKOUŠENÍ ČEPU

V této kapitole bude popsáno, jakou funkci čep ve stabilizátoru vykonává a zároveň bude popsána konkrétní technologie výroby.

3.1 Funkce kulového čepu ve stabilizátoru [4], [15], [16], [17]

Jak už bylo zmíněno, kulový čep je součástí táhla stabilizátoru přední nápravy osobního automobilu. U dnešních vozů je požadováno dobré odpružení podvozku pro komfortní jízdu i na nerovných vozovkách. To má za následek nežádoucí náklon vozidla při průjezdu zatáčkou. Náklon je způsoben vzniklým momentem od odstředivé síly, působící v těžišti vozidla a třecími silami mezi povrchem vozovky a pneumatiky. Automobil se při průjezdu pravotočivou zatáčkou naklání na vnější stranu, jenž je tak více zatěžována než strana vnitřní. Náklon způsobí nižší komfort při řízení, ale hlavně ovlivňuje ovladatelnost vozu a tím bezpečnost jízdy. Ke snížení náklonu se do podvozků začal přidávat stabilizátor a dnes už je základním vybavením všech osobních automobilů. V principu stabilizátor funguje jako zkrtná tyč. Na obou koncích

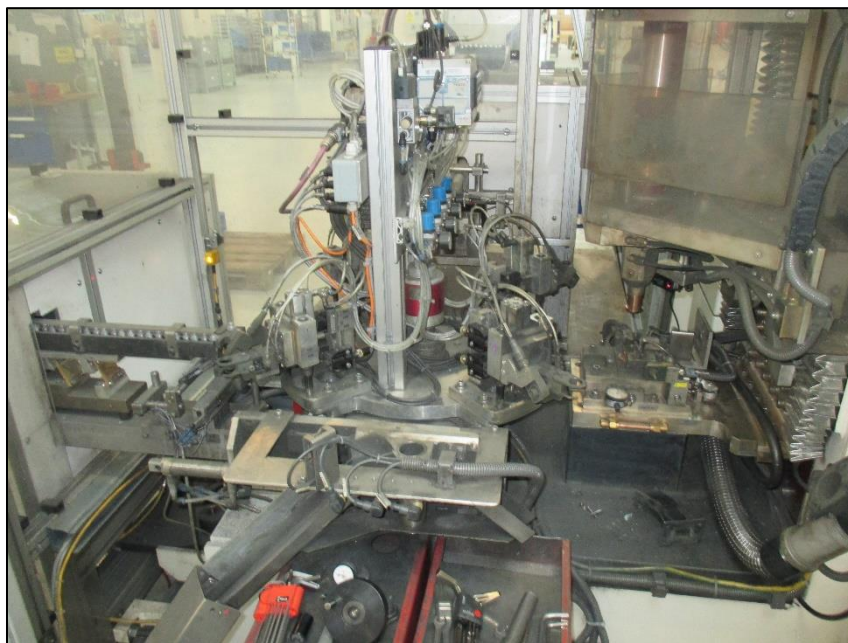


Obr. 15 Umístění kulového čepu v osobním automobilu [4], [15], [16]

je ukotven k nezávislému zavěšení kol a ve střední části je otočně připevněn k rámu vozidla. Při průjezdu zatáčkou má vnitřní kolo snahu se nadlehčovat a vnější kolo naopak více stlačovat. Dochází k výškovému rozdílu míst, kde je stabilizátor spojen se zavěšením kola a ten se zkrucuje. Svojí tuhostí se tomuto zkroucení brání, a tím snižuje náklon vozidla při průjezdu zatáčkou a ovlivňuje přetáčivost případně nedotáčivost. Prvním běžně používaným typem v osobních automobilech je tzv. U stabilizátor, který je vyroben z tyče a ohnut do tvaru U a je přímo spojen se zavěšením kol. U dalšího typu plní roli stabilizátoru vlastní kliková náprava. Jedná se většinou o zadní nehnané a neovládané nápravy starších nebo jednodušších vozů, např. Škoda Felicia. Tato práce se však zabývá testováním kulového čepu, jenž je použit u stabilizátorů využívajících ke spojení s rameny kol táhel (někdy se táhlo nazývá spojkou). Poloha jednotlivých součástí v automobilu je znázorněna na obr. 15.

3.2 Výroba čepu [4], [6]

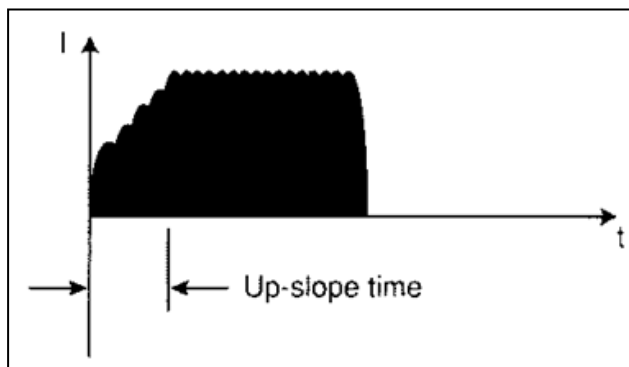
Jak bylo uvedeno výše, k výrobě čepu se ve společnosti THK používá kalená kulička a nekalený dřík. Ke spojení těchto dílů se využívá metoda odporového svařování. Tato technologie byla zavedena poměrně nedávno, dříve se čepy celé obráběly z kovaných polotovarů. Jelikož ale u stabilizátorů nejsou požadovány tak vysoké nároky na bezpečnost jako například u kulových čepů do táhel řízení, jeví se svařování jako vhodnější technologie. Kuličky i dříky jsou nakoupeny od dodavatelů a ve firmě se pak svařují a montují to táhel.



Obr. 17 Otočný stůl podavače svařovacího stroje [8]

Tvarem svařovaných ploch kuličky a dříku se metoda nejvíce podobá bradavkovému svařování. Svařování čepů probíhá na speciálním stroji od firmy GLAMATronic, viz obr. 16. Tento stroj využívá středofrekvenčního svařování, což je metoda s extrémně krátkými svařovacími časy. Vstupní trojfázový proud se usměrňuje a v následující inverterové konstrukční skupině pomocí energetických polovodičů přemění na střídavý proud o vyšší frekvenci

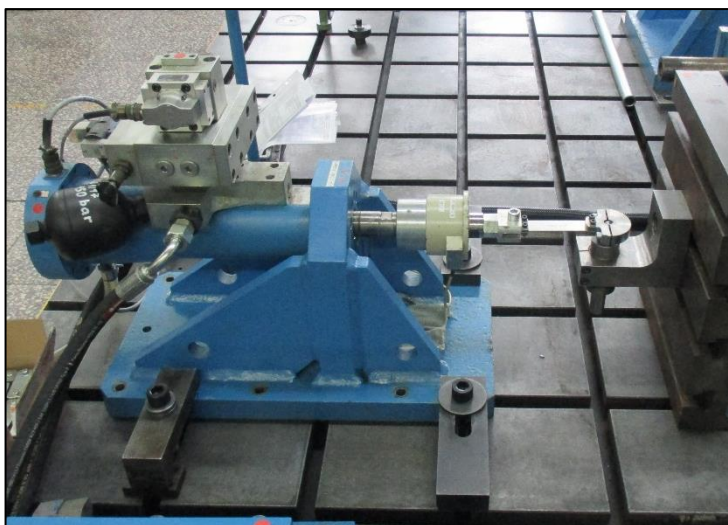
v řádech kHz. Tento střídavý proud se poté přemění v transformátoru na velikosti vhodné pro svařování a následně se usměrní. Místem svaru prochází stejnosměrný proud. Mezi výhody středofrekvenčního svařování patří: žádné posunutí fází, malé vlnění svařovacího proudu (viz obr. 17), nejmenší regulovatelná časová jednotka je 0,5 ms, je vhodné pro krátké svařovací doby cca od 20 ms, průběžné přivádění energie do bodu svaru, menší a lehčí transformátory, malé indukční ztráty. Tento stroj má stabilní ocelovou konstrukci, aby vydržela vysoké přitlačné síly při svařování. Při procesu svařování udržuje svařovací válec konstantní tlak. Využívá též systém jakosti MQSwin, kterým se snadno dají nastavovat svařovací parametry, jako je přitlačná síla, velikost proudu v závislosti na čase a doba svařování. Tyto parametry navíc zpětně kontroluje a ukládá do paměti. Zároveň stroj vyhodnocuje, jestli odpovídají povoleným odchylkám. Svářečka pracuje s vysokými proudy, které zahřívají kritické konstrukční prvky a ty se musí chladit vodním chlazením. Mezi kritické prvky patří transformátory, elektrodové desky a inverter.



Obr. 16 Průběh svařovacího proudu v čase při středofrekvenčním svařování [6]

3.3 Současné zkoušení čepu [4], [5]

Po svaření se čep podrobuje celkem běžným zkouškám pro vyhodnocení kvality svarového spoje. První z nich je testování na únavu, kdy se čep upne do přípravku ve speciálním stroji pro únavové zkoušky, jenž je na obr. 18. Testování se provádí až do iniciace trhliny a prasknutí zkoušeného kusu. Hodnotí se především počet dosažených cyklů do lomu a porovná se s hodnotami spolehlivosti dle Weibullova rozdělení pravděpodobností. Tento test je pro potřeby oddělení kvality nepraktický, jelikož je časově náročný (trvá kolem osmi hodin) a také vyžaduje speciální zařízení pro provedení a vyhodnocení testu. Prasklý kus po zkoušce je na obr. 19. Druhým testem je měření tvrdosti podle Vickerse. Nejprve je zapotřebí dobře připravit zkušební vzorek. Čep je podélně rozříznut a zkrácen. Takto předpřipravený je zalit do pryskyřice a po jejím zatvrdnutí přebroušen a vyleptán. Vyleptáním se zviditelní tepelně ovlivněná oblast svaru. Teprve potom se může provést měření tvrdosti v ose čepu od místa uvnitř kuličky přes svar a tepelně ovlivněnou oblast směrem k neovlivněné části díku v určitých délkových intervalech. V ideálním případě tvrdost v popsané přímce výrazně nekolísá. Zkušební vzorek pro měření tvrdosti je na obr. 20.



Obr. 18 Testovací stroj únavové pevnosti



Obr. 20 Vzorek po zkoušce únavové pevnosti



Obr. 19 Vzorek po zkoušce tvrdosti

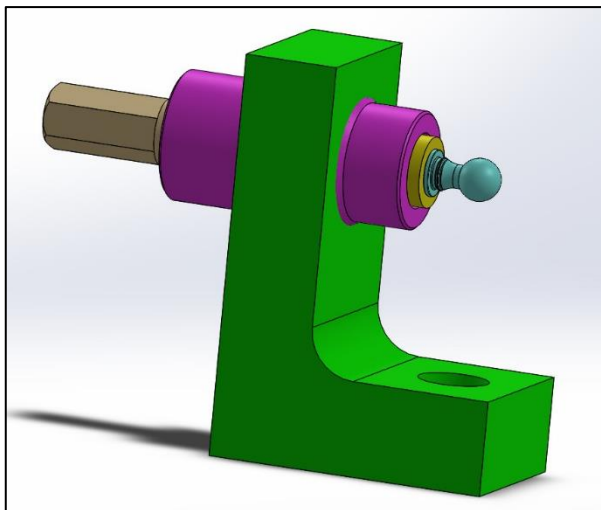
4 NÁVRH METOD ZKOUŠENÍ A VÝBĚR OPTIMÁLNÍ VARIANTY

V této kapitole jsou navrženy tři varianty zkušebního zařízení a z nich je doporučena jedna, která se jeví pro danou součást a její funkci jako nevhodnější.

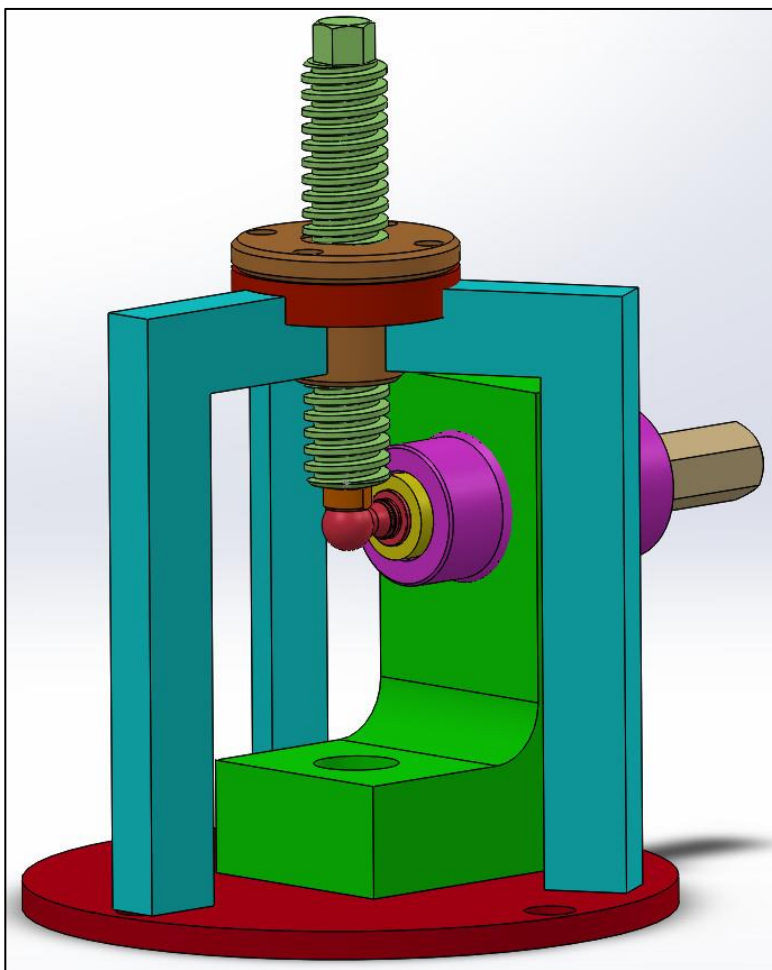
4.1 Metoda s pohybovým šroubem a momentovým klíčem [4], [18], [19], [20]

Testování na únavu a měření tvrdosti jsou časově náročné, a proto se ve firmě THK při testování kusů například při změně nastavení svařovacího stroje nebo při změně materiálu dříku prováděl ohybový test. Tento test spočíval v tom, že se čep zašrouboval do přípravku, který je na obr. 21, a ten byl následně přimontován k pracovnímu stolu trhačího stroje. Osa čepu tedy tvořila vodorovnou přímku. Poté se na čep začalo tlačit ve svislém směru pístem trhačky v místě nad středem kuličky a tím byl čep ohýbán. Trhací stroj zaznamenával hodnoty síly až do chvíle, kdy se čep porušil nebo začal vytahovat v závitu, a z těchto hodnot se vyhodnotil výsledek zkoušky. Též se bralo v potaz, kde se čep porušil – jestli to bylo v místě svaru, v tepelně ovlivněné oblasti nebo mimo ni, či se jen ohnul a nepraskl. Tento způsob zkoušení se neřídil žádnou konvenční metodou, sloužil pouze pro rychlé vyhodnocení vhodnosti svařovacích parametrů, či použitého materiálu apod. Před definitivními změnami těchto parametrů se však vždy prováděly i testy na únavu a měření tvrdosti v určité sérii vzorků.

První navrhovaná metoda vychází z těchto zkušeností, kdy je upnutý vzorek pomalu zatěžován osovou silou pohybového šroubu nad středem kuličky, a tím je namáhán na ohyb. Princip metody je popsán v následujících větách a je ilustrován na obr. 22. Hydraulický píst trhačky



Obr. 21 Přípravek pro upnutí čepu



Obr. 22 Návrh zkušebního zařízení s pohybovým šroubem

je nahrazen pohybovým šroubem, aby celé zkušební zařízení bylo mechanické, jak je uvedeno v zadání. Zkušební vzorek je upnut ve stejném přípravku jako při zkouškách na trhačím stroji (viz obr. 21). Přípravek je přišroubován ke svařovanému rámu zařízení. K rámu je přišroubována i matice pohybového šroubu. Otáčením pohybového šroubu momentovým klíčem je vyvozována ve šroubu osová síla, jež způsobuje ohyb vzorku. Aby nedocházelo k posunování zařízení po podložce, musí k ní rám být pevně připevněn pomocí šroubů. Při prováděných měřeních na trhačím zařízení dosahovala maximální ohybová síla při porušení svaru nebo vytahování vzorku ze závitu hodnot v řádech jednotek až desítek kilonewtonů, a proto je pohybový šroub dimenzován na osovou sílu do 25 kN. Tato síla je vyvolávána pákou na momentovém klíči, tedy lidskou silou, proto je nutné brát v potaz velikost síly tak, aby nemuselo být obsluhou zařízení vyvoláváno příliš velké fyzické úsilí. Pohybový šroub je navržen z oceli 11 700 a matice z bronzu, součinitel smykového tření mezi těmito materiály při suchém kontaktu má hodnotu 0,13. Abychom mohli určit rozměry šroubu, tím jeho převod a vybrat vhodný momentový klíč, musíme nejdříve určit minimální malý průměr závitu z rovnic 4.1 a 4.2.

$$S_3 = \frac{\pi \cdot d_{3z}^2}{4}, \quad (4.1)$$

kde: S_3 [mm²] je výpočtový průřez šroubu
 d_{3z} [mm] je malý průměr závitu
 π [-] je Ludolfovo číslo

$$\sigma_t = \frac{F_o}{S_3} \leq \sigma_{Dt} [MPa], \quad (4.2)$$

kde: σ_t [MPa] je napětí v tlaku
 $F_o=25\,000$ N je osová síla pohybového šroubu
 $\sigma_{Dt}=120$ MPa je dovolené napětí v tlaku oceli 11 700

Z těchto rovnic vyplývá vztah pro malý průměr závitu:

$$d_3 = \sqrt{\frac{4 \cdot F_o}{\pi \cdot \sigma_{Dt}}} = \sqrt{\frac{4 \cdot 25000}{\pi \cdot 120}} = 16,29 \text{ mm}$$

Pohybový šroub bude namáhán jak na tlak, tak i krut a vzpěr, proto je jeho malý průměr ještě o něco zvětšen. Z těchto důvodů je vybrán závit Tr 30x3 ČSN 01 4050. Z rozměrů závitu můžeme určit úhel stoupání šroubovice γ podle rovnice 4.3.

$$\gamma_1 = \arctg\left(\frac{P_z}{\pi \cdot d_{2z}}\right) = \arctg\left(\frac{3}{\pi \cdot d_{2z}}\right) = 1,92^\circ, \quad (4.3)$$

kde: γ_1 [°] je úhel stoupání šroubovice
 $P_z=3$ mm je rozteč závitu
 $d_{2z}=28,5$ mm je střední průměr závitu

Dále je potřeba určit třecí úhel v klínové drážce ocelového pohybového šroubu a bronzové matice podle rovnice 4.4.

$$\varphi = \arctg\left(\frac{f_1}{\cos(\beta_1)}\right) = \arctg\left(\frac{0,13}{\cos(15^\circ)}\right) = 7,67^\circ, \quad (4.4)$$

kde: φ [°] je třecí úhel v klínové drážce
 $f_1=0,13$ je součinitel smykového tření suchého povrchu ocel-bronz za klidu
 $\beta_1=15^\circ$ je poloviční úhel klínové drážky lichoběžník. rovnoramenného závitu

Z osové síly, úhlu stoupání šroubovice a třecího úhlu v klínové drážce můžeme určit podle rovnice 4.5 obvodovou sílu pro utahování a následně podle rovnice 4.6 krouticí moment od obvodové síly.

$$F_{obv} = F_o \cdot \operatorname{tg}(\gamma + \varphi) = 25000 \cdot \operatorname{tg}(1,92 + 7,67) = 4224N, \quad (4.5)$$

kde: F_{obv} [N] je obvodová síla na středním průměru závitu

$$M_{u1} = F_{obv} \cdot \frac{d_{z2}}{2} = 4224 \cdot \frac{28,5}{2} = 60192N \cdot mm, \quad (4.6)$$

kde: M_{u1} [N.mm] je krouticí moment obvodové síly při utahování

Krouticí moment je ještě třeba zvýšit o moment od třecí síly mezi koncem pohybového šroubu a stentem tlačícím na kuličku čepu vyjádřeného rovnicí 4.7.

$$M_{u2} = F_o \cdot f_2 \cdot R_s = 25000 \cdot 0,17 \cdot 5 = 16250N \cdot mm, \quad (4.7)$$

kde: M_{u2} [N.mm] je krouticí moment od třecí síly mezi stentem a šroubem
 $f_2=0,17$ je součinitel smykového tření suchého povrchu ocel-ocel za klidu
 $R_s=5$ mm je střední poloměr třecího plochy mezi stentem a šroubem

Celkový moment potřebný k vyvození osové síly 25 000 N je pak dán rovnicí 4.8.

$$M_{uc} = M_{u1} + M_{u2} = 60192 + 16250 = 76442N \cdot mm, \quad (4.8)$$

kde: M_{uc} [N.mm] je celkový krouticí moment

Daný pohybový šroub by bylo potřeba zkontrolovat na kombinované namáhání krutem a tlakem a na vzpěrnou stabilitu. Matice pak na tlak v závitech. To už ale není cílem tohoto návrhu testovací metody. Úkolem bylo znázornit proveditelnost metody z hlediska potřebné síly na páce k vyvození osové síly ve šroubu. Z výsledků totiž vyplývá, že stačí použít běžný momentový klíč s možností nastavovat moment síly (například klíč s rozsahem 20-80 N.m). Z této možnosti je potom patrné, že změnou hodnoty momentu síly se může posuzovat, jak velkou ohybovou sílu vzorek vydrží a z jejích hodnot potom vyvozovat závěry o kvalitě svarového spoje. Vhodné je také vybrat co nejdelší klíč, aby utahovací síla byla co nejmenší a obsluha se nemusela zbytečně namáhat.

4.2 Metoda testování padostrojem [4]

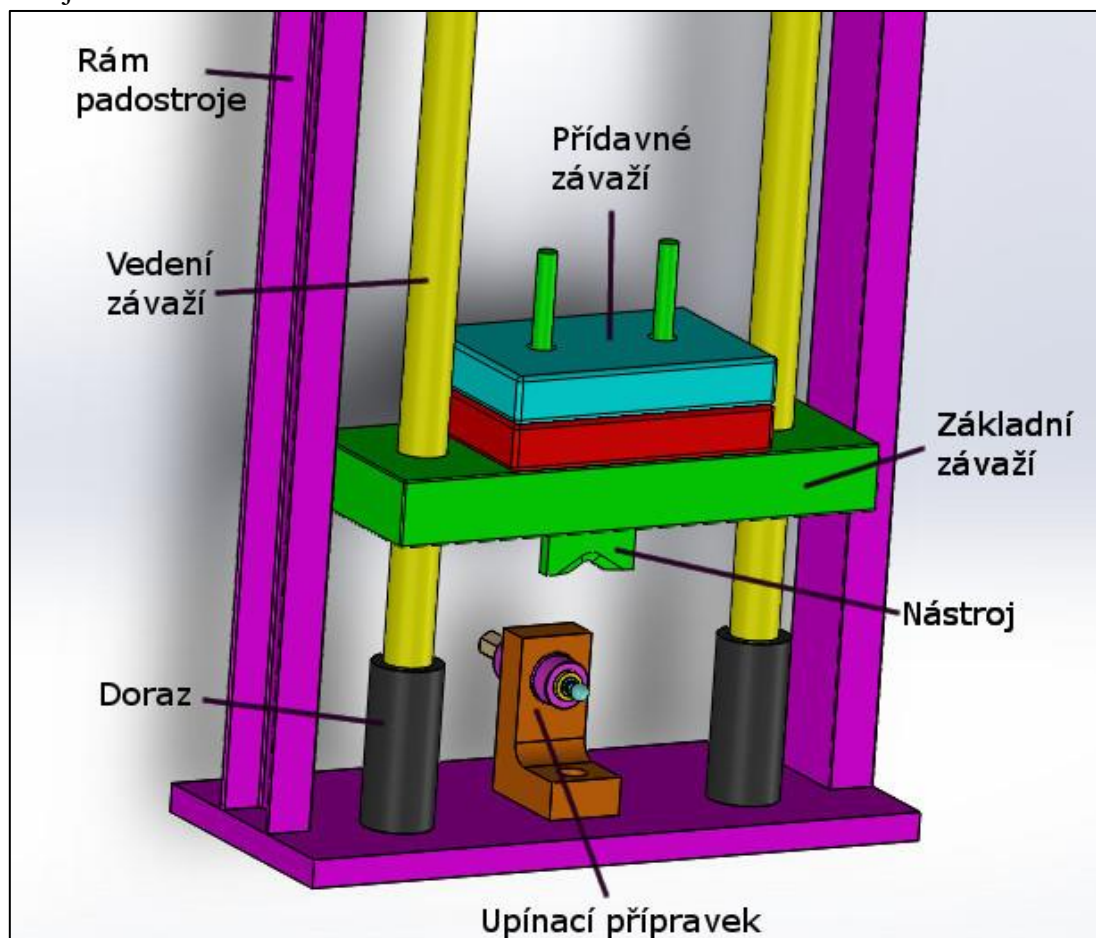
Další metoda vychází z rázových zkoušek padajícím závažím. Zařízením, určených k těmto zkouškám, se říká padostroje. Princip, na kterém fungují, je velmi jednoduchý. Na zkušební vzorek se z dané výšky pouští závaží dané hmotnosti a poté se vyhodnocuje, co náraz závaží udělal se zkušebním vzorkem. Maximální energie závaží, jenž se může při nárazu spotřebovat, se řídí rovnicí 4.9.

$$E_{pz} = m_z \cdot g \cdot h_z, \quad (4.9)$$

kde: E_{pz} [J] je potenciální energie závaží
 m_z [kg] je hmotnost závaží
 $g=9,80665$ m.s⁻² je gravitační zrychlení
 h_z [m] je výška pádu závaží

V případě zkoušky čepu stabilizátoru se po pádu závaží vyhodnotí, zda se kulička oddělila od dřívku v místě svaru nebo mimo něj, popřípadě jestli nedošlo ke spotřebování veškeré energie závaží. V případě, že se tomu tak stane, je potřeba zvýšit energii závaží. Toho je možno docílit zvyšováním hmotnosti závaží pomocí přídavných závaží, které se umístí na základní závaží

s nástrojem pro přerážení čepu nebo nastavitelnou výškou, z které závaží padá. Po sérii testů lze pak určit energii závaží, kterou zkušební vzorky musí vydržet. Základní koncepce, ze které je vidět princip metody je na obr. 23. K upnutí čepu je opět použit stejný přípravek jako při zkouškách na trhacím stroji, zobrazený na obr. 21, jenž je přišroubován k základní desce rámu padostroje.



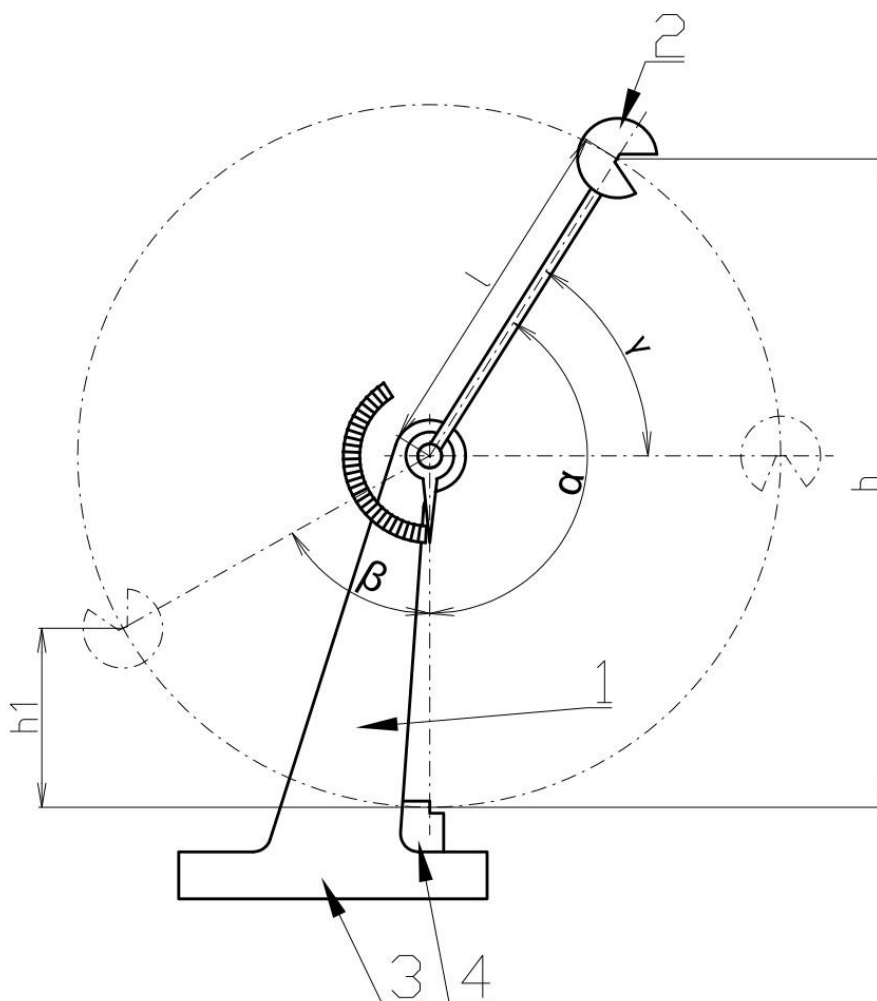
Obr. 23 Základní návrh padostroje

4.3 Metoda Charpyho kladiva [4], [21], [22]

Třetí metoda je založená na principu zkoušky rázem v ohybu metodou Charpy, při kterých se určuje vrubová houževnatost materiálů. Tato zkouška je popsána normou ČSN ISO 148-1 a je potřeba při ní mít vzorky s normalizovanými rozměry a zkušební zařízení s osvědčením opravňujícím provádění těchto zkoušek – podle autora metody těmto zařízením říkáme Charpyho kladiva. Kulový čep samozřejmě nesplňuje požadavky pro zkoušení touto metodou, proto bylo potřeba navrhnout zařízení, které bude zohledňovat jiný tvar vzorku. Navrhované zařízení se nicméně od zařízení pro provádění normovaných zkoušek významně neliší. Předlohou pro zkonstruování Charpyho kladiva i tohoto zařízení bylo matematické kyvadlo. Tedy ideálně hmotný bod otáčející se kolem vodorovné osy na nehmotné tyči. Toto provedení je v praxi nerealizovatelné, avšak snažíme se této teorii co nejvíce přiblížit. Hmotný bod je nahrazen kladivem s velkou hmotností a co nejmenšími rozměry, nehmotná tyč tyčí hmotnou, ale s hmotností co nejmenší. Tyč je připevněna k ose uložené v ložiscích s co nejmenším valivým odporem. Ložiska jsou pak uložena v rámu stroje, který by se měl blížit dokonale tuhé konstrukci s dobrým tlumením vibrací. Rázová síla stroje je vyvolána kyvem kladiva z výchozí polohy v určité výšce. V dolní úvratí kladivo naráží do zkušební vzorku v přesně stanoveném místě a jeho kinetická energie se přeměňuje na nárazovou práci potřebnou

k přeražení vzorku. Po destrukci vzorku kladivo překmitne přes dolní úvrat' a podle výšky, kde kladivo dosáhne horní úvratě, se určí nárazová práce. Schéma Charpyho kladiva, které je stejné jako návrhové schéma zařízení pro zkoušení čepu, je na obr. 24.

Po provedení zkoušky se vyhodnocuje hodnota výšky kladiva nebo úhlu výkyvu kyvadla, podle které se určí energie spotřebovaná na přeražení vzorku. Tato energie je dána rozdílem potenciálních energií kladiva před nárazem a po nárazu podle rovnice 4.10. Úhel výkyvu se odečítá z vychýlení rařičky, která je unášena tyčí kladiva a zůstává viset v horní úvratí po přeražení vzorku.



Obr. 24 Schéma Charpyho kladiva 1-rám stroje, 2-kladivo, 3-základna, 4-podpora zkušebního tělesa, h-výška pádu kyvadla, h_1 -výška výkyvu kyvadla, l-délka ramene kyvadla, α -úhel pádu kyvadla, β -úhel výkyvu kyvadla, γ -úhel nastavení pádu kyvadla [22]

$$K = m_k \cdot g \cdot (h - h_1) = m_k \cdot g \cdot l \cdot (\cos \beta - \cos \alpha), \quad (4.10)$$

kde: K [J]	je nárazová práce
m_k [kg]	je hmotnost kladiva
h [m]	je výška pádu kyvadla
h_1 [m]	je výška výkyvu kyvadla
l [m]	je délka ramene kyvadla
α [°]	je úhel pádu kyvadla
β [°]	je úhel výkyvu kyvadla

4.4 Výběr optimální varianty [4]

Největší výhodou první metody pro rychlou zkoušku k ověření kvality svarového spoje s pohybovým šroubem je jednoduchost testovacího zařízení. Konstrukce není náročná na výrobu, údržbu ani obsluhu, nezabere příliš prostoru. Samotná zkouška je poměrně rychlá, proveditelná v řádech minut. Naopak její nevýhodou je statický charakter zatěžování čepu. Tato součást je totiž za provozu automobilu zatěžována spíše rázovými silami, a proto je vhodnější použít zatěžování rázovou silou. Další nevýhodou je nastavení zkušebního zařízení. Pro určení přesné osově síly v pohybovém šroubu, je zapotřebí znát skutečnou hodnotu smykového tření mezi povrchem pohybového šroubu a maticí, který závisí na stavu obou povrchů. Tato metoda zkoušení byla vyhodnocena jako nevhodná.

Metoda zkoušení padostrojem oproti předchozí metodě splňuje požadavek na testování rázovou silou. Konstrukce opět není zvlášť složitá, ale oproti první metodě je o poznání robustnější a náročnější jak na výrobu, tak i obsluhu. Té může být navíc při nevhodném zacházení zařízení nebezpečné. Nastavení hodnot nárazové práce je možno provádět jak změnou hmotnosti závaží, tak změnou nastavení výšky pádu. Nevýhodou padostroje je, že část potenciální energie závaží může být spotřebována třením mezi závažím a jeho vedením. Taktéž může dojít ke vzpříčení závaží ve vedení. Největší nevýhodou zařízení je však fakt, že při vyhodnocování zkoušky je možno určit pouze jestli daný vzorek náraz vydržel, či nikoliv, ale už nelze určit při jaké energii závaží dojde k porušení čepu. Z těchto důvodů byla i tato metoda vyhodnocena jako nevhodná.

Poslední navrhovanou metodou je metoda zkoušení s využitím principu Charpyho kladiva. Opět se jedná o zkoušení rázovou silou. Nevýhodou tohoto způsobu je složitost konstrukce. Základní nastavení jmenovité energie kyvadla je provedeno pomocí hmotnosti kladiva. Výška výchozí polohy je pevně stanovená. Tato energie se však nastaví pouze při zprovoznování zařízení. Nejprve odhadem a po provedení vypovídající série testů se případně upraví a už zůstane pro testování daného typu čepu neměnná. Měla by být navržena tak, aby nárazová práce dosáhla maximálně 80 % její hodnoty. Sérií testů lze také určit minimální hodnotu nárazové práce, které musí být pro kladné vyhodnocení testu dosaženo. Tato hodnota se opět musí dát do souvislosti s výsledky testů na únavu. Největší nevýhodu (složitost konstrukce) zcela převyšuje největší výhoda tohoto způsobu testování, a sice možnost nárazovou práci potřebnou k přeražení vzorku změřit vychýlením ukazatele podle úhlu výkyvu kyvadla po přeražení vzorku. Po odjištění kyvadla narazí kladivo do zkušební vzorku, předá část svojí kinetické energie a zbývající část se opět přemění na energii potenciální, čímž vychýlí rafičku o určitý úhel a podle něj se ze stupnice odečte nárazová práce. Tím se v případě negativního výsledku dá určit rozdíl naměřené a požadované nárazové práce. Právě tato výhoda, společně s rychlostí provedení zkoušky, byla oproti výhodám ostatních metod vyhodnocena jako zásadní, a proto je doporučeno použít pro rychlou zkoušku ověření kvality svarového spoje konkrétního kulového čepu stabilizátoru právě zařízení pracující na principech této metody.

Na závěr této kapitoly je třeba zdůraznit, že testováním čepů metodou Charpyho kladiva nelze nahradit stávající testy na únavu materiálu ani zkoušky tvrdosti po rozřezu součásti. Slouží pouze jako doplňující zkouška pro potřeby oddělení kvality firmy THK. Pro nastavení hodnoty minimální nárazové práce je potřeba dát do souvislosti výsledky z této zkoušky s výsledky testů na únavu a na tvrdost. Tuto souvislost nelze vyjádřit matematickým vztahem vyplývajícím z materiálových vlastností. Souvislosti se musí vyzkoušet experimentálně sérií vzorků a budou platit pouze pro jednu jedinou konkrétní součástku – kulový čep znázorněný na obr. 2 na str. 2.

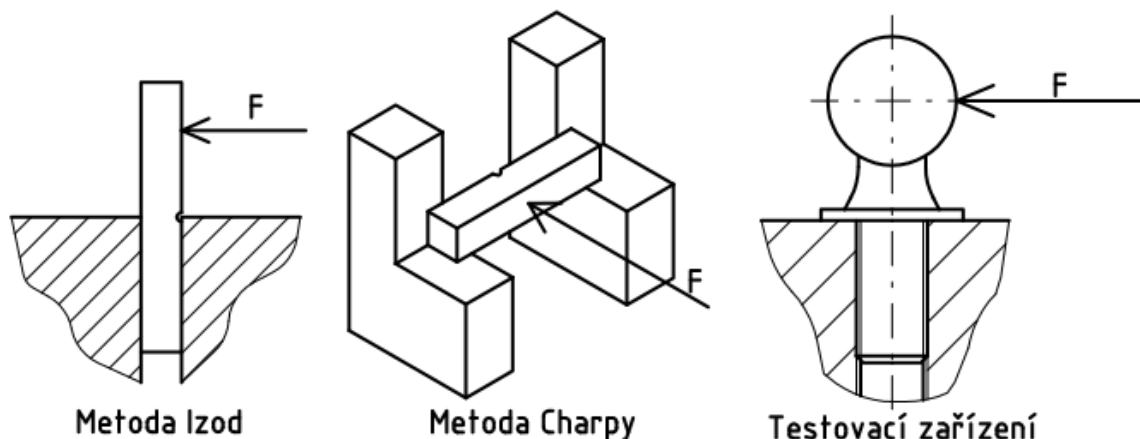
5 NÁVRH TESTOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Charpyho kladivo je zařízení určené k rázovým zkouškám vrubové houževnatosti materiálu. Přítomnost vrubu na vzorku je zásadní předpoklad k provádění těchto zkoušek, protože se hodnotí právě chování materiálu při jejich přítomnosti. Vruby jsou totiž koncentrátory napětí běžně se vyskytující na reálných strojních součástkách. Přítomnost vrubu je zároveň příznivá pro dimenzování zařízení. K přeražení vzorku s vrubem je totiž u většiny kovových materiálů zapotřebí mnohem nižší nárazové práce než u vzorku bez vrubu. Koncentrátor napětí nemusí mít vždy geometrický charakter, jako je tomu například u drážek pro pero nebo osazení hřídele. Mohou jimi být i nerovnoměrnost chemického složení materiálu, či nestejnorodá struktura.

5.1 Základní parametry testovacího zařízení [4], [21], [22], [23]

Kulový čep, pro nějž je zařízení navrhováno, obsahuje oba typy koncentrátorů napětí v jednom místě. Koncentrátorem napětí daným geometrií je přechod válcové části dřívku do kulové hlavy a technologickým koncentrátorem je svar v tom samém místě. To je předpoklad k tomu, že k přelomení součástky dojde právě v místě tohoto vrubu. Je však těžké určit jaká energie bude k přeražení takové součásti zapotřebí. Zkušební vzorky upravené normou ČSN ISO 148-1 jsou svou geometrií zásadně odlišné od kulového čepu a při stejném průřezu i materiálu vzorku mohou dosahovat jiných hodnot nárazové práce. Informativní hodnoty tak byly vzaty z testů na trhacím stroji, kdy byla zaznamenávána závislost síly na posunutí až do porušení svaru. Numerickou integrací byla vypočtena hodnota práce síly a podle ní bylo možno určit jmenovitou energii kyvadlového zařízení. Pro tento konkrétní kulový čep je i s ohledem na maximální využití 80 % jmenovité energie pro nárazovou práci zvolena hodnota 300 J. Toto je hlavním vstupem do dalšího postupu návrhu.

Další významnou odlišností je možnost způsobu upínání vzorku. Při Charpyho zkoušce je vzorek umístěn na vodorovných podporách a zároveň se ve svislém směru opírá o opěrky. Kladivo pak naráží do vzorku uprostřed přesně mezi dvěma podporami proti vrubu tak, aby



Obr. 25 Rozdíl v upínání vzorků a v působení rázové síly [20], [21], [22]

se po nárazu kladiva vzorek „otevřel“. Toho však u kulového čepu nemůže být dosaženo. Ten musí být vetknutý v závitě a kladivo do něj musí narážet letmo. Tento způsob upínání se více podobá metodě Izod, popsanou normou ČSN EN ISO 180. Vzorky jsou opět opatřeny přesně definovaným vrubem a jsou upnuty svisle. Rozdíl v upínání vzorků všech metod je na obr. 25.

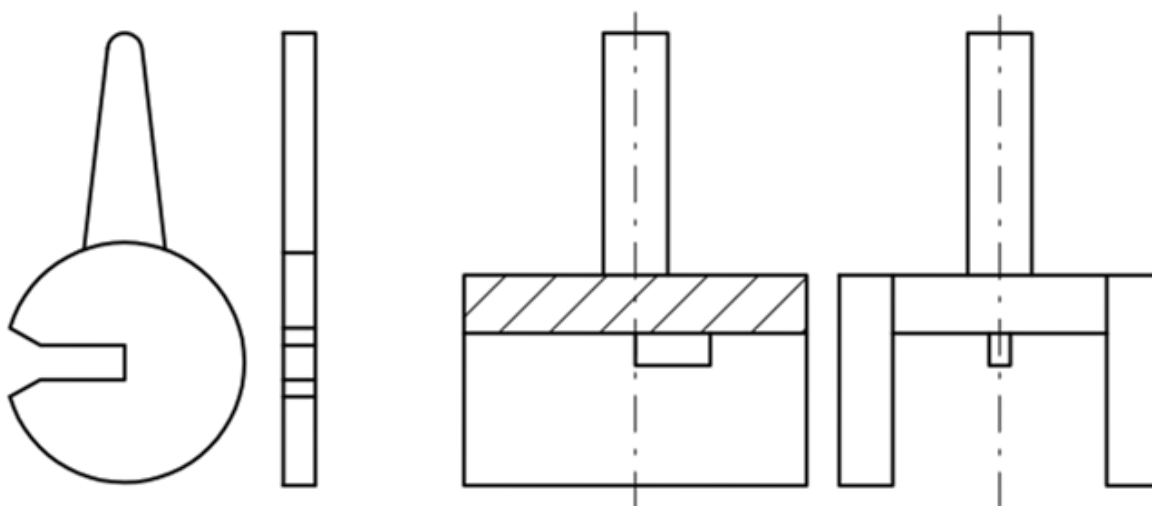
Charpyho kladiva se dělají ve dvou verzích – existují kladiva typu „U“ a kladiva typu „C“. Jejich rozdíl v konstrukci je znázorněn na obr. 26. Kvůli upnutí čepu ve vertikální poloze musí být použito kladivo typu „U“. To je také snadněji představitelné při potřebě změnit hmotnost

kladiva a tím jmenovitou energii. Po vytvoření modelu kladiva ve 3D CAD programu byla změřena jeho hmotnost $m_k=20,671$ kg. To je další vstupní hodnota potřebná pro výpočet dalších parametrů zařízení.

Prvním z počítaných parametrů zařízení je výška pádu kyvadla h , dle rovnice 5.1.

$$h = \frac{E_j}{g \cdot m_k} = \frac{300}{9,80665 \cdot 20,671} = 1,480m, \quad (5.1)$$

kde: $E_j=300$ J je jmenovitá energie kyvadlového zařízení



Obr. 26 Typy kladiv: vlevo kladivo „C“, vpravo kladivo „U“ [22]

Po uvolnění z této výšky by mělo kladivo dosáhnout nárazové rychlosti v_n v rozmezí $5 - 5,5$ m.s⁻¹. Přibližnou hodnotu při zanedbání vlivu tření v ložiscích a odporu vzduchu můžeme určit pomocí rovnice 5.2.

$$v_n = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} = \sqrt{2 \cdot 9,80665 \cdot 1,48} = 5,388m \cdot s^{-1}, \quad (5.2)$$

kde: v_n [m.s⁻¹] je nárazová rychlost kladiva

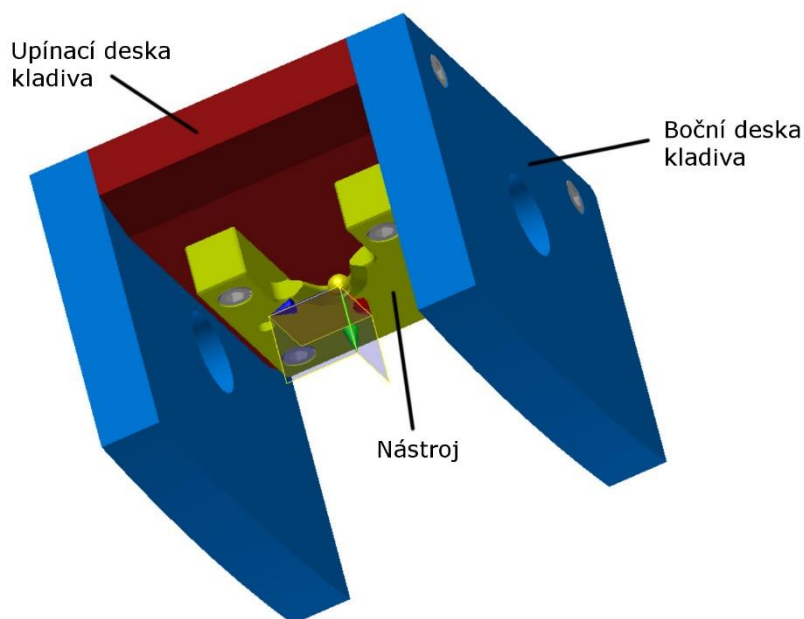
Vypočtená rychlost je v doporučeném intervalu, výška pádu vyhovuje. Pro výpočet poloměru kyvu a zároveň délky ramene kyvadla l , bylo ještě potřeba zvolit úhel nastavení pádu kyvadla $\gamma=77^\circ$. Délku ramene l lze potom určit pomocí rovnice 5.3.

$$l = \frac{h}{1 + \sin \gamma} = \frac{1,480}{1 + \sin 77} = 0,750m, \quad (5.3)$$

Délkou ramene kyvadla se rozumí nejkratší kolmá vzdálenost mezi osou otáčení kyvadla a těžištěm hmotnosti kladiva.

5.2 Kladivo [4], [24]

Kladivo bylo navrženo jako kladivo typu „U“ s možností měnit hmotnost kladiva a tím nastavovat jmenovitou energii zařízení. Změna hmotnosti bude prováděna záměnou bočních desek kladiva. To však přináší svá úskalí. Po přímce se tím posune poloha těžiště hmotnosti kladiva. Tento problém lze kompenzovat polohou díry v bočních deskách nebo úpravou polohy nástroje. Tím se ale zase změní délka ramene kyvadla. Vhodnější je tak správně zvolit úpravu bočních desek a nezměnit tím polohu těžiště kladiva. Návrh kladiva při jmenovité energii zařízení 300 J včetně polohy jeho těžiště je zobrazen na obr. 27. Závislost hmotnosti kladiva na jmenovité energii zařízení je uveden v tabulce 1.

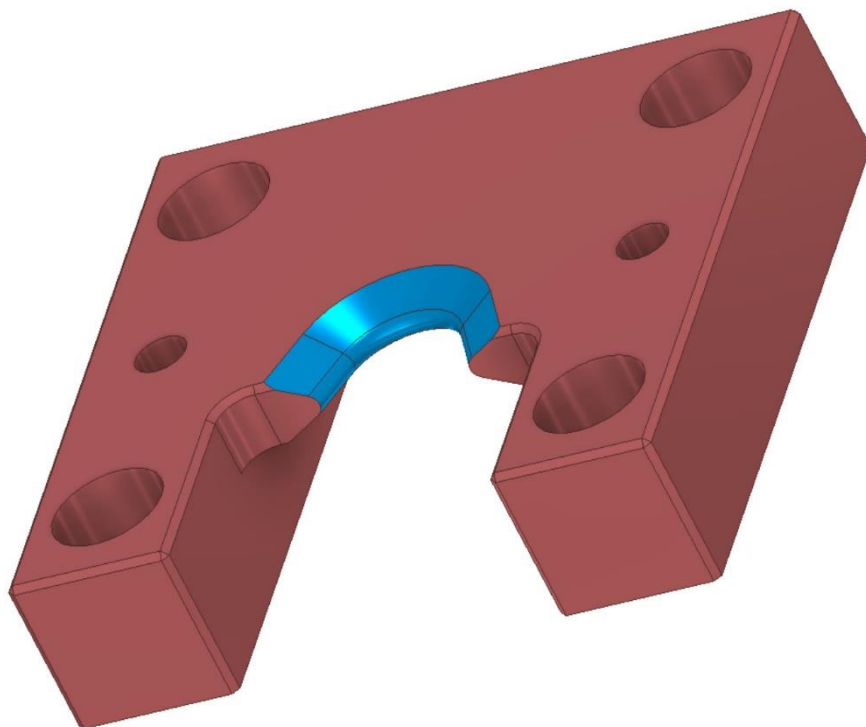


Obr. 27 Návrh kladiva se zobrazenou polohou těžiště

Tabulka 1 Hodnoty hmotností pro dané energie.

E_j [J]	200	250	300	350	400
m_k [kg]	13,78	17,225	20,671	24,115	27,56

U normovaných zkoušek Charpy a Izod se hrana břitu kladiva umísťuje co nejbližše těžišti hmoty kladiva, aby byl styk mezi břitem a vzorkem liniový, ne bodový a aby se dotyková úsečka shodovala s osou tyče spojující kladivo s osou otáčení. Liniového dotyku nástroje kladiva a kuličky čepu je dosaženo konstrukční úpravou břitu, viz obr. 28. Poloměr špičky břitu nástroje byl zvolen stejně jako u normalizovaných nástrojů pro měření vrubové houževnatosti



Obr. 28 Nástroj se zvýrazněným břitem

KV₂ 2 mm a poloměr vybrání nástroje odpovídá poloměru kuličky čepu – 9 mm. Vybrání je opatřeno tečnými náběhy, aby se při ne zcela přesném upnutí čepu sama ustavila přesná poloha. Nepřesnosti ustavení musí být v řádech desetin milimetru, jinak by při nárazu vznikaly nežádoucí axiální síly na ložiska v uložení hřídele kyvadla. Při potřebě testovat jinou součást musí úpravy zařízení zahrnovat i úpravu nástroje, a proto je nástroj vyměnitelný. Aby při nárazu nedocházelo k jeho vytrhování z upínací desky kladiva, je k ní přišroubován na čtyřech místech imbusovými šrouby a jeho přesná poloha vůči upínací desce je zajištěna dvěma válcovými kolíky. Je jasné, že se jedná o značně namáhanou součást, proto se na to musí brát ohled při volbě materiálu. Pro dobrou odolnost proti nárazům a vrypům při zachování dobré houževnatosti byla vybrána ocel 19 452. Nejprve žíhaná na měkko, poté kalena a popuštěna. Charakteristika materiálu a jeho chemické složení je v tabulce 2.

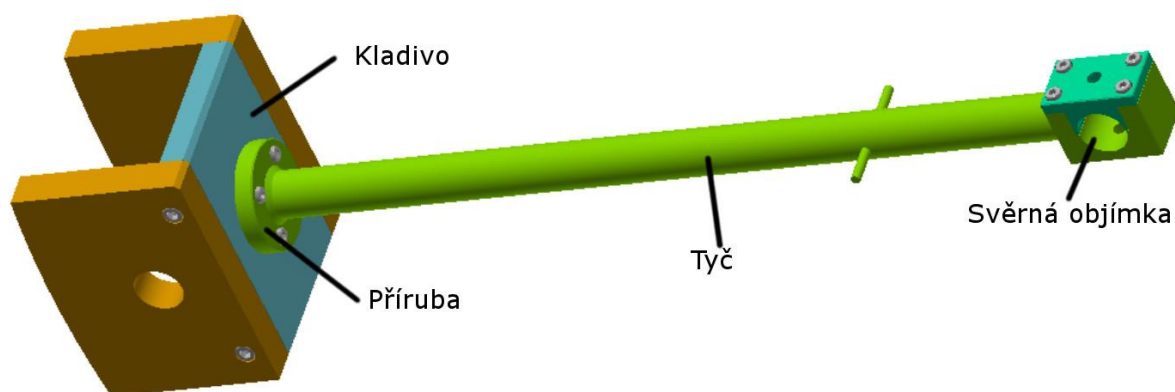
Tabulka 2 Chemické složení a charakteristika oceli 19 452 [24].

Označení oceli: 19 452	Chemické složení v %						
	C	Mn	Si	P	N	Cr	Ni
	0,55-0,65	0,6-0,9	1,5-1,9	0,03	0,035	0,7-1	0,35

Charakteristika: Na nástroje pro stříhání za studena, řezné, ruční, upínací nástroje, formy a nástroje na drcení a mletí. Hloubka zakalení v oleji do průměru (tloušťky) asi 40 mm v celém průřezu. Velmi dobrá houževnatost při poměrně vysoké tvrdosti, dobrá odolnost proti dynamickému střídavému namáhání a úderům, velmi dobrá pružnost a odolnost proti opotřebení (i tepelně nezpracovaná), dobrá tvárnost za tepla i obrobiteľnost (v žíhaném stavu). Nástroje pro stříhání za studena (včetně děrovacích nástrojů a nůžek na stříhání větších tloušťek), řezné nástroje na obrábění dřeva, ruční nástroje (pneumatické sekáče, šroubováky, klíče), upínací nástroje (kleštiny apod.), formy, vyhazovače, kolíky pro tváření plastů, nástroje na drcení a mletí.

5.3 Tyč kyvadla [4], [19], [20], [21], [22]

Tyč kyvadla spojuje hřidel kyvadla a kladivo. Ke hřídeli je připevněna pomocí svěrného objímky přivařená k tyči a proti pootočení zajištěna válcovým kolíkem. Ke kladivu je pak přišroubována imbusovými šrouby přes přírubu, jenž je s tyčí svařená. Toto ilustruje obr. 29.



Obr. 29 Sestava kyvadla

Tyč kyvadla by měla být ideálně nehmotnou, což samozřejmě reálně není možné, ale její rozměry a materiál se volí tak, aby měla co největší tuhost při co nejmenší hmotnosti. Tyč zároveň musí jít svařit s objímkou a přírubou, proto byl zvolen materiál 11 353.1 s mezí kluzu 235 MPa po normalizačním žíhání. Kvůli lepší tuhosti při stejném průřezu a namáhání je použita trubka, jejíž vnitřní a vnější průměr se odvíjí od namáhání tyče kyvadla v ohybu.

Maximální hodnotu ohybového napětí, které se projeví ve svaru tyče a svěrné objímky lze stanovit rovnicí 5.4. Při výpočtu bude zanedbána vlastní hmotnost tyče kyvadla, koncentrace napětí v místě svaru a rázové zatížení, proto hodnotu dovoleného napětí v ohybu raději snižujeme na 78 MPa.

$$M_{ot} = m_{k400} \cdot g \cdot l_t = 27,56 \cdot 9,80665 \cdot 710 = 191893 \text{ N} \cdot \text{mm}, \quad (5.4)$$

kde: M_{ot} [N.mm] je ohybový moment v místě svaru svěrné objímky tyče
 $m_{k400}=27,56$ kg je hmotnosti kladiva pro jmenovitou energii zařízení 400 J
 $l_t=710$ mm je vzdálenost těžiště kladiva od místa svaru tyče a objímky

Vnější průměr trubky byl zvolen 42,4 mm a podle rovnice 5.5 se vypočítá její vnitřní průměr.

$$d_t = \sqrt[4]{D_t^4 - \frac{M_{ot} \cdot 32 \cdot D_t}{\pi \cdot \sigma_{Dot}}} = \sqrt[4]{42,4^4 - \frac{191893 \cdot 32 \cdot 42,4}{\pi \cdot 78}} = 38,38 \text{ mm}, \quad (5.5)$$

kde: d_t [mm] je vnitřní průměr trubky
 $D_t=42,4$ mm je vnější průměr trubky
 $\sigma_{Dot}=78$ MPa je dovolené napětí v ohybu materiálu 11 353.1

Těmto rozměrům a materiálu vyhovuje bezešvá trubka 42,4x2,6 podle ČSN 42 5715.01.

5.4 Typ a rozměry zvedacího ústrojí kyvadla [4], [19], [20], [21], [22]

Hmotnost kladiva při jakémkoliv nastavení jmenovité energie je příliš vysoká, než aby se dalo pohodlně, a hlavně bezpečně zvednout a zajistit lidskou silou přímo. Z těchto důvodů musí být zařízení vybaveno zvedacím ústrojím. Bylo možné zvolit více způsobů, ale jako nejvhodnější byl vybrán převod ozubenými koly s přímými zuby. Díky převodu ozubení se může kladivo zvedat s vynaložením menší síly a zároveň může obsluha stát mimo dráhu kyvu. Jako největší možná zvedací síla na kličce, je považována hodnota 100 N. Pro určení poměru sil a rozměrů ozubení se nejdříve musí vypočítat krouticí moment od gravitační síly při zvedání. Jeho maximum nastane v momentě, kdy tyč kyvadla bude ve vodorovné poloze. Protože se bere v potaz možnost změny jmenovité energie kyvadla, jsou další výpočty nastaveny na její maximální hodnotu 400 J, čemuž odpovídá hmotnost kladiva 27,56 kg. Vztah pro výpočet kroutícího momentu na hřídeli kyvadla je uveden v rovnici 5.6.

$$M_k = m_{k400} \cdot g \cdot l = 27,56 \cdot 9,80665 \cdot 750 = 202703 \text{ N} \cdot \text{mm}, \quad (5.6)$$

kde: M_k [N.mm] je krouticí moment na hřídeli kyvadla

Převod by měl mít co největší převodový poměr, proto je pastorek volen s minimálním počtem zubů, který lze vyrobit bez podřezání paty zubu. Pro úhel záběru 20° je tento počet roven 17. Pro zjištění dalších rozměrů by se měla z předběžně zvolené hodnoty roztečného průměru spoluzabírajícího kola zjistit obvodová síla v ozubení, určit počet zubů, šířka ozubení, zvolit materiál a vypočítat modul, aby zuby vydržely namáhání na ohyb. Tento krok se při návrhu zařízení přeskočil a modul byl určen 3 mm. U kola na hřídeli kladiva byl určen počet zubů 93 a podle rovnice 5.7 jsou spočteny průměry roztečných kružnic pastorku i kola.

$$d_{rk} = m_n \cdot z [\text{mm}], \quad (5.7)$$

kde: d_{rk} [mm] je průměr roztečné kružnice
 $m=3$ mm je modul ozubení
 z [-] je počet zubů

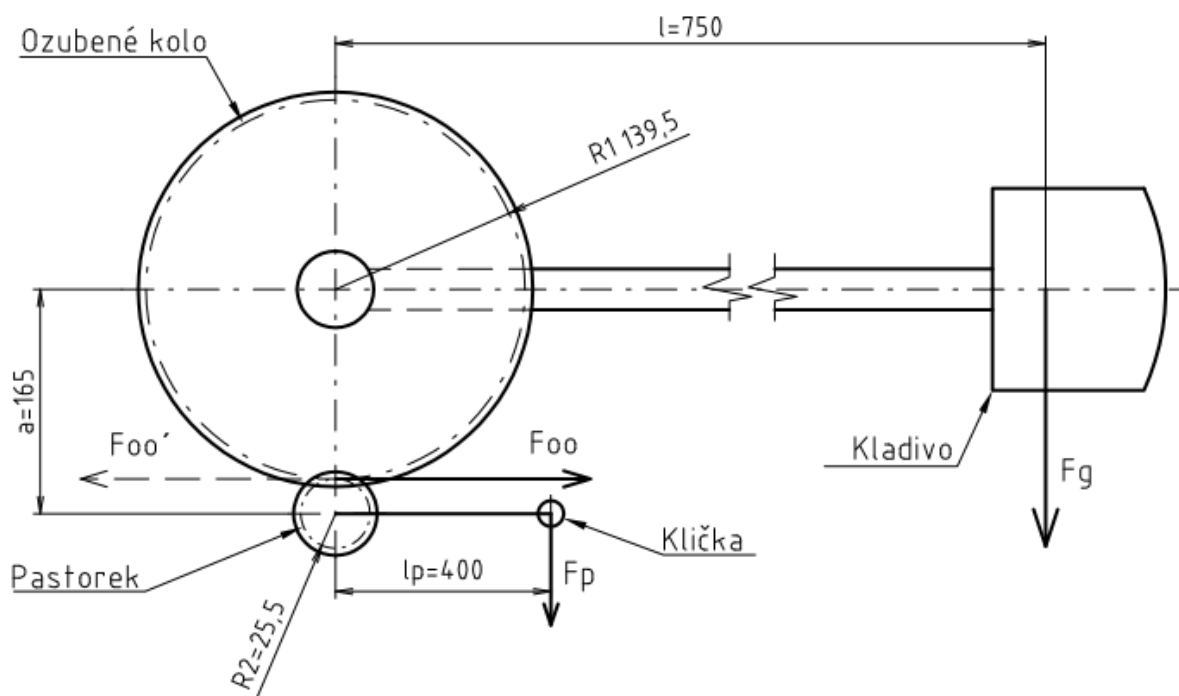
$$d_{rk1} = m_n \cdot z_1 = 3 \cdot 17 = 51 \text{ mm},$$

kde: d_{rk1} [mm] je průměr roztečné kružnice pastorku
 $z_1=17$ je počet zubů pastorku

$$d_{rk2} = m_n \cdot z_2 = 3 \cdot 93 = 279 \text{ mm},$$

kde: d_{rk2} [mm] je průměr roztečné kružnice spoluzabírajícího kola
 $z_2=93$ je počet zubů spoluzabírajícího kola

K vytvoření schématu zvedacího ústrojí chybí ještě zvolit délku kličky – 400 mm. Toto schéma je vyobrazeno na obr. 30 a podle něj, kroutícího momentu na hřídeli kyvadla a rovnic 5.8 a 5.9 je možné zjistit maximální sílu na kličce během zvedání. Síly v ozubení se přenášejí na roztečných kružnicích kol.



Obr. 30 Schéma zvedacího ústrojí

$$F_{oo} = \frac{2 \cdot M_k}{d_{rk2}} = \frac{2 \cdot 202704}{279} = 1453 \text{ N}, \quad (5.8)$$

kde: F_{oo} [N] je obvodová síla v ozubení kola na hřídeli kyvadla

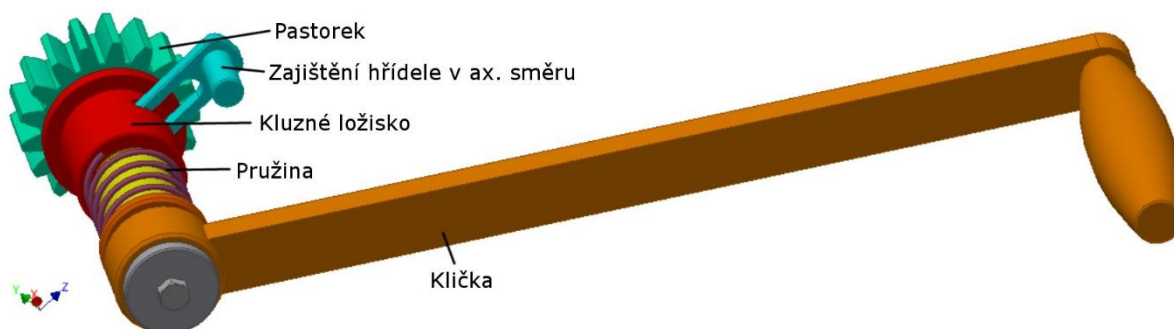
$$F_p = \frac{F_{oo} \cdot \frac{d_{rk2}}{2}}{l_p} = \frac{1453 \cdot \frac{51}{2}}{400} = 92,6 \text{ N}, \quad (5.9)$$

kde: F_p [N] je síla na kličce
 l_p [mm] je délka kličky

Délkou kličky se rozumí vzdálenost mezi osou pastorku a osou madla kličky. Maximální síla, kterou musí obsluha vyvinout při zvedání kladiva při nastavení zařízení na jmenovitou energii 400 J vychází 92,6 N, což je vyhovující. Tuto sílu je navíc nutné vyvinout pouze v jednom okamžiku, při vodorovné poloze osy tyče kyvadla, mění se totiž se sinem úhlu pádu kladiva α .

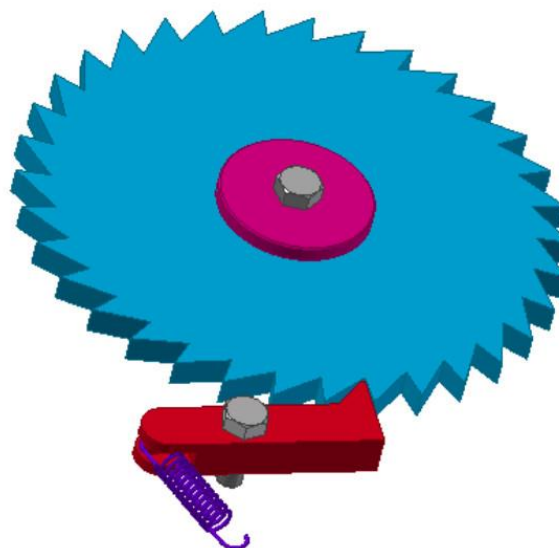
5.5 Pojistka proti náhlému uvolnění kyvadla

Ozubené kolo s pastorkem je v záběru jen při zvedání kladiva, aby při probíhající zkoušce neodebírala energii a roztočená klička nebyla nebezpečná obsluze. Provedení axiálně posuvné hřídele je na obr. 31.



Obr. 31 Prvky hřídele kličky

Pastorek je v záběru s kolem na hřídeli kyvadla pouze když se stlačí pružina a zajistí v axiálním směru zářezkou zapadající do osazení hřídele. Při náhlém uvolnění zářezky by mohlo dojít k vysunutí pastorku ze záběru a tím k pádu kladiva v jehož dráze by se mohl vyskytnout nějaký předmět nebo nějaká část lidského těla. Aby se omezilo toto riziko, je hřídel kyvadla opatřena rohatkou, která je zajištěna proti pootočení západkou. Rohatky se západkou bude využíváno i například k velmi malému vychýlení kyvadla při upínání zkušebního vzorku nebo při nedotažení zvedání kyvadla až do výchozí polohy na jeden zátah.



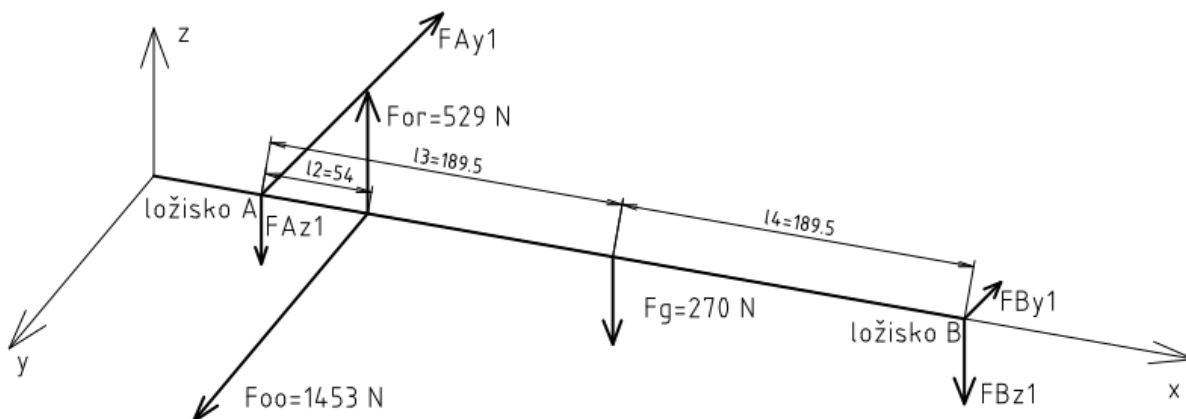
Obr. 32 Návrh rohatky se západkou

Veskrze je však zařízení opatřeno rohatkou a západkou z důvodu bezpečnosti obsluhy i zařízení. Před provedením zkoušky musí dojít k uvolnění západky vycvaknutím pružinky, když je kyvadlo zaaretováno ve výchozí poloze. Návrh pojistky tvořené rohatkou a západkou je znázorněn na obr. 32.

5.6 Hřídel kyvadla [19], [20], [25]

Teprve po navržení všech prvků na hřídeli kyvadla můžeme přistoupit k návrhu a výpočtu jejich rozměrů. Umístění prvků na hřídeli bylo voleno s ohledem na co nejlepší funkci zařízení. Při návrhu minimálního průměru je zapotřebí uvažovat dva provozní stavy, ke kterým může dojít, a potom určit maximální ohybový a kroutící moment.

První provozní stav nastane při běžném zvedání kyvadla. Hřídel je namáhána na krut mezi ozubeným kolem a kyvadlem, na ohyb od gravitační síly kladiva a sil v ozubení. Hmotnost tyče kyvadla je oproti hmotnosti kladiva zanedbatelná, proto ve výpočtech není uvažována. Schéma silového zatížení hřídele při zvedání kyvadla v momentě maximálního kroutícího momentu, tedy při vodorovné poloze osy tyče kyvadla, je na obr. 33. Podle tohoto schématu můžeme sestavit rovnice silové (5.10 a 5.12) a momentové (5.11 a 5.13) rovnováhy pro jednotlivé roviny.



Obr. 33 Schéma silového zatížení hřídele kyvadla při zvedání

Pro rovinu xz platí:

$$0 = -F_{Az1} + F_{or} - F_g - F_{Bz1}, \quad (5.10)$$

kde: F_{Az1} [N] je složka reakční síly ložiska A v rovině xz při zvedání kyvadla

$F_{or}=529$ N je radiální síla v ozubení

$F_g=270$ N je gravitační síla kladiva

F_{Bz1} [N] je složka reakční síly ložiska B v rovině xz při zvedání kyvadla

$$0 = F_{Az1} \cdot (l_3 + l_4) - F_{or} \cdot (l_3 + l_4 - l_2) + F_g \cdot l_4, \quad (5.11)$$

kde: $l_2=54$ mm je vzdálenost středu náboje ozubeného kola od středu ložiska A

$l_3=189,5$ mm je vzdálenost osy tyče kyvadla od středu ložiska A

$l_4=189,5$ mm je vzdálenost osy tyče kyvadla od středu ložiska B

Pro rovinu xy platí:

$$0 = -F_{Ay1} + F_{oo} - F_{By1}, \quad (5.12)$$

kde: F_{Ay1} [N] je složka reakční síly ložiska A v rovině xy při zvedání kyvadla

F_{By1} [N] je složka reakční síly ložiska B v rovině xy při zvedání kyvadla

$$0 = -F_{Ay1} \cdot (l_3 + l_4) + F_{oo} \cdot (l_3 + l_4 - l_2), \quad (5.13)$$

Z rovnic 5.10 až 5.13 vyplývají následující vztahy pro výpočet složek reakčních sil:

$$F_{Az1} = \frac{F_{or} \cdot (l_3 + l_4 - l_2) - F_g \cdot l_4}{l_3 + l_4} = \frac{529 \cdot (189,5 + 189,5 - 54) - 270 \cdot 189,5}{189,5 + 189,5} = 319 \text{ N}$$

$$F_{Bz1} = -F_{Az1} + F_{or} - F_g = -319 + 529 - 270 = -60 \text{ N}$$

Záporná hodnota F_{Bz} znamená, že byl špatně odhadnut směr složky reakční síly.

$$F_{Ay1} = \frac{F_{oo} \cdot (l_3 + l_4 - l_2)}{l_3 + l_4} = \frac{1453 \cdot (189,5 + 189,5 - 54)}{189,5 + 189,5} = 1246 \text{ N}$$

$$F_{By1} = -F_{Ay1} + F_{oo} = -1246 + 1453 = 207 \text{ N}$$

Maximální ohybový moment na hřídeli kyvadla při zvedání se nachází v místě středu náboje ozubeného kola. Jeho velikost se určí podle rovnic 5.14 až 5.16.

$$M_{oz1} = F_{Az1} \cdot l_2 = 319 \cdot 54 = 17226 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (5.14)$$

kde: M_{oz1} [N.mm] je maximální ohybový moment při zvedání kyvadla v rovině xz

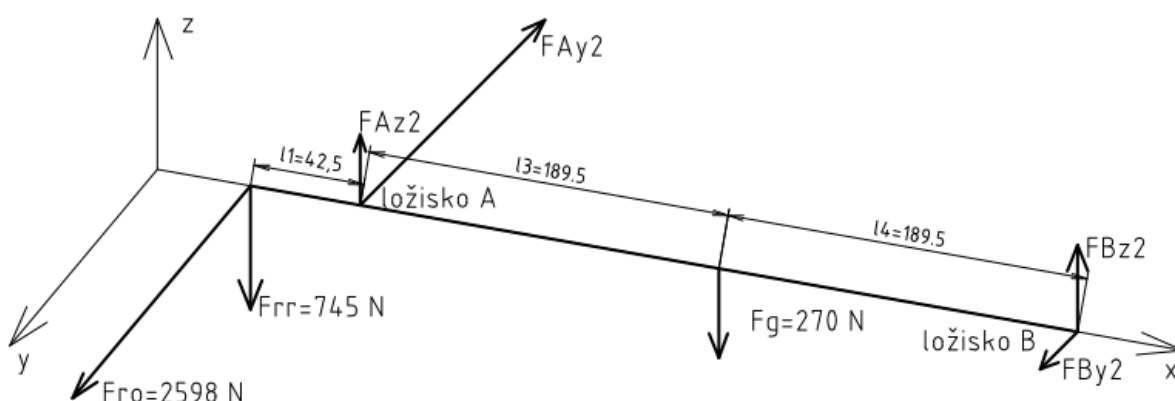
$$M_{oy1} = F_{Ay1} \cdot l_2 = 1246 \cdot 54 = 67284 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (5.15)$$

kde: M_{oy1} [N.mm] je maximální ohybový moment při zvedání kyvadla v rovině xy

$$M_{oc1} = \sqrt{M_{oz1}^2 + M_{oy1}^2} = \sqrt{17226^2 + 67284^2} = 69454 \text{ N} \cdot \text{mm} \quad (5.16)$$

kde: M_{oc1} [N.mm] je celkový maximální ohybový moment při zvedání kyvadla

Druhým provozním stavem je situace, kdy se náhle uvolní kyvadlo přesně v momentě, kdy je osa tyče kyvadla ve vodorovné poloze a hřídel se zastaví zapřením západky v rohatce. V takovém případě je hřídel namáhána na krut mezi rohatkou a kyvadlem, na ohyb od síly, jakou působí západka na rohatku a od gravitační síly kladiva. Schéma silového zatížení hřídele pro tento stav je schematicky znázorněno na obr. 34.



Obr. 34 Schéma silového zatížení hřídele kyvadla při zapření západky v rohatce

Ke zjištění velikosti složek reakčních sil v ložiscích je potřeba opět sestavit rovnice silové (5.17 a 5.19) a momentové (5.18 a 5.20) rovnováhy v jednotlivých rovinách.

Pro rovinu xz platí:

$$0 = F_{Az2} - F_{rr} - F_g + F_{Bz2}, \quad (5.17)$$

kde: F_{Az2} [N] je složka reakční síly ložiska A v rovině xz při uvolnění kyvadla

$F_{rr}=745$ N je radiální složka síly od západky v rohatce

F_{Bz2} [N] je složka reakční síly ložiska B v rovině xz při uvolnění kyvadla

$$0 = -F_{Az2} \cdot (l_3 + l_4) + F_{rr} \cdot (l_1 + l_3 + l_4) + F_g \cdot l_4, \quad (5.18)$$

Pro rovinu xy platí:

$$0 = -F_{Ay2} + F_{ro} + F_{By2}, \quad (5.19)$$

kde: F_{Ay2} [N] je složka reakční síly ložiska A v rovině xy při uvolnění kyvadla

$F_{ro}=2598$ N je tečná složka síly od západky v rohatce

F_{By2} [N] je složka reakční síly ložiska B v rovině xy při uvolnění kyvadla

$$0 = -F_{Ay2} \cdot (l_3 + l_4) + F_{ro} \cdot (l_1 + l_3 + l_4), \quad (5.20)$$

kde: $l_1=42,5$ mm je vzdálenost středu náboje rohatky od středu ložiska A

Pro jednotlivé složky reakčních sil pak platí tyto vztahy:

$$F_{Az2} = \frac{F_{rr} \cdot (l_1 + l_3 + l_4) + F_g \cdot l_4}{l_3 + l_4} = \frac{745 \cdot (42,5 + 189,5 + 189,5) + 270 \cdot 189,5}{189,5 + 189,5} = 964 \text{ N}$$

$$F_{Bz2} = -F_{Az2} + F_{rr} + F_g = -964 + 745 + 270 = 51N$$

$$F_{Ay2} = \frac{F_{ro} \cdot (l_1 + l_3 + l_4)}{l_3 + l_4} = \frac{2598 \cdot (42,5 + 189,5 + 189,5)}{189,5 + 189,5} = 2889N$$

$$F_{By2} = +F_{Ay2} - F_{ro} = 2889 - 2598 = 291N$$

Maximum ohybového momentu leží v místě středu ložiska A a jeho velikost určují rovnice 5.21 až 5.22.

$$M_{oz2} = F_{rr} \cdot l_1 = 745 \cdot 42,5 = 31663N \cdot mm, \quad (5.21)$$

kde: M_{oz2} [N.mm] je maximální ohybový moment při uvolnění kyvadla v rovině xz

$$M_{oy2} = F_{ro} \cdot l_1 = 2598 \cdot 42,5 = 110415N \cdot mm, \quad (5.22)$$

kde: M_{oy2} [N.mm] je maximální ohybový moment při uvolnění kyvadla v rovině xy

$$M_{oc2} = \sqrt{M_{oz2}^2 + M_{oy2}^2} = \sqrt{31663^2 + 110415^2} = 114865N \cdot mm \quad (5.23)$$

kde: M_{oc2} [N.mm] je celkový maximální ohybový moment při uvolnění kyvadla

Celkový maximální ohybový moment při uvolnění kyvadla je vyšší než při zvedání kyvadla, proto bude pro výpočet minimálního průměru hřídele použita tato hodnota.

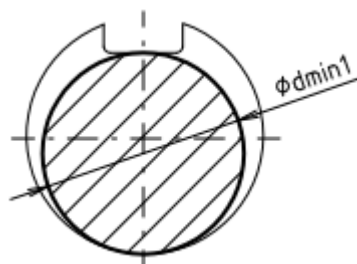
Pro hřídel kyvadla je použit materiál 12 050 s mezí kluzu 390 MPa, přičemž je ponížena návrhovým součinitelem 1,5. Krouťicí moment mezi hřídelí kyvadla a ozubeným kolem i rohatkou je přenášen pomocí těsných per. Drážky pro pero jsou velkými koncentrátoři napětí. Jejich součinitel tvaru pro normálové napětí je roven 2,5 a pro smykové napětí roven 3. Krouťicí moment přenášený hřídelí mezi kyvadlem a západkou je podle rovnice 5.6 roven 202703 N.mm. Vztah 5.24 pro nejmenší průměr hřídele kyvadla je posuzován k meznímu stavu pružnosti a vychází z rovnice pro redukované napětí při použití teorie měrné energie napjatosti změny tvaru.

$$d_{min1} \geq \sqrt[6]{\left(\frac{k_n}{Re}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{\alpha_\sigma \cdot M_{oc2} \cdot 32}{\pi}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{\alpha_\tau \cdot M_k \cdot 16}{\pi}\right)^2\right]} \quad (5.54)$$

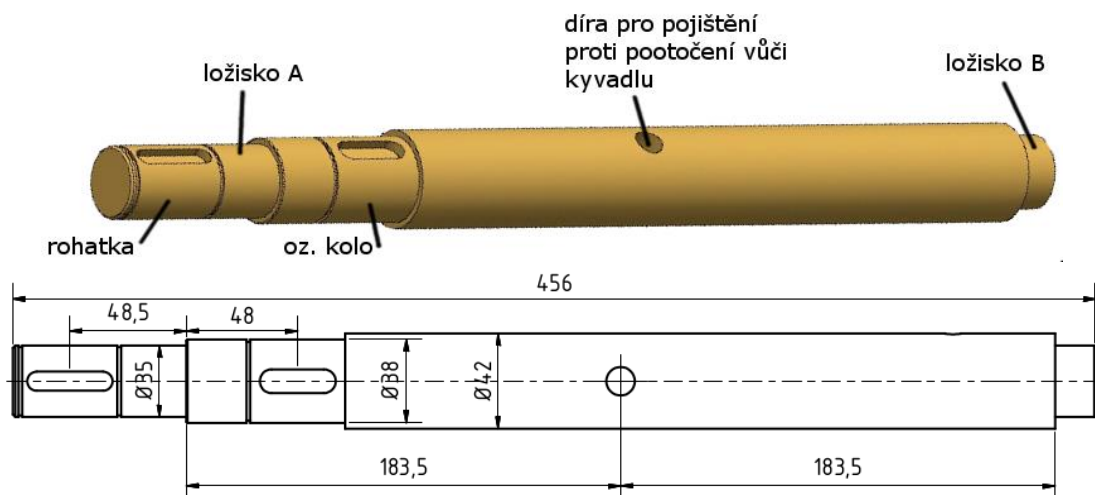
$$d_{min1} \geq \sqrt[6]{\left(\frac{1,5}{390}\right)^2 \cdot \left[\left(\frac{2,5 \cdot 114865 \cdot 32}{\pi}\right)^2 + 3 \cdot \left(\frac{3 \cdot 202703 \cdot 16}{\pi}\right)^2\right]} = 28,64mm,$$

kde: d_{min1} [mm]	je minimální průměr hřídele kyvadla
$k_n=1,5$	je návrhový součinitel
$Re=390$ MPa	je mez kluzu pro materiál 12 050
$\alpha_\sigma=2,5$	je součinitel tvaru drážky pro pero pro normálové napětí
$\alpha_\tau=3$	je součinitel tvaru drážky pro pero pro smykové napětí

Hodnota 28,64 mm je minimální rozměr průměru vepsané kružnice mezi dno drážky pro pero a protilehlý okraj hřídele viz obr. 35. S ohledem na průběh ohybového momentu a přítomnost různých koncentrátorů napětí je možno hřídel konstrukčně upravit kvůli funkci, kterou bude za provozu zařízení vykonávat. Mezi tyto úpravy patří osazení hřídele a drážky pro pojistné kroužky k zajištění polohy ozubeného kola, rohatky a ložisek, dále díra pro válcový kolík k zabránění pootočení kyvadla vůči hřídeli a drážky pro pera. Finální návrh tvaru hřídele kyvadla je na obr. 36.



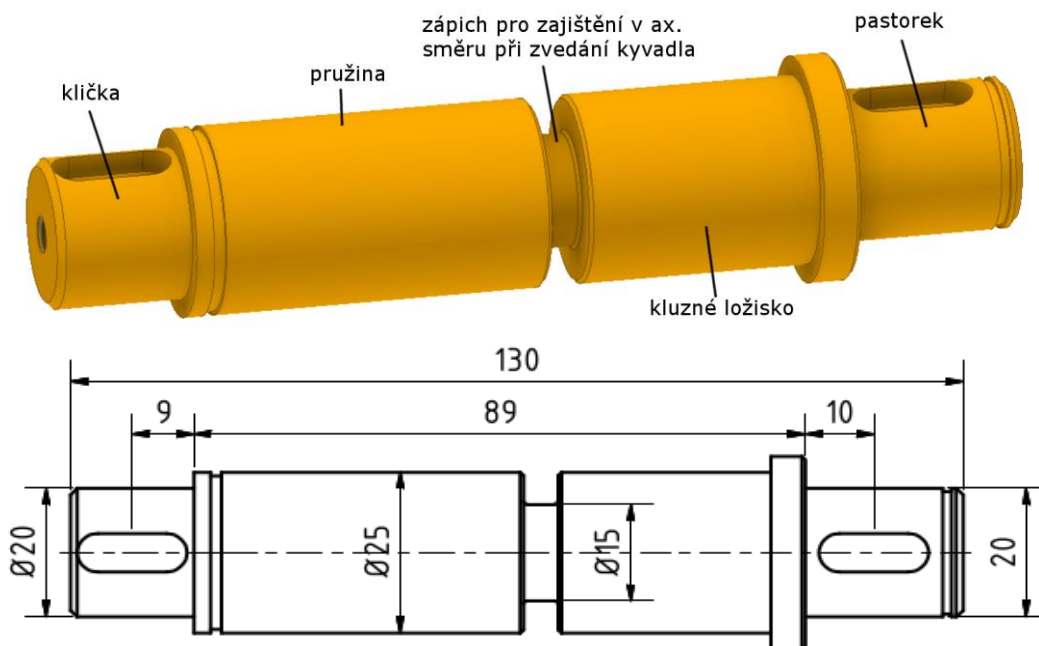
Obr. 36 Výpočtový průřez hřídele



Obr. 35 Návrh hřídele kyvadla se základními rozměry a polohou funkčních prvků

5.7 Hřídel kličky [19], [20], [25]

Postup pro výpočet minimálního průměru hřídele kličky byl shodný s výpočtem minimálního průměru hřídele kyvadla. Hřídel je namáhána na krut mezi pastorkem a kličkou a na ohyb od sil v ozubení. Nejmenší průměr hřídele $d_{\min 2}$ vyšel při zvolení stejného materiálu,



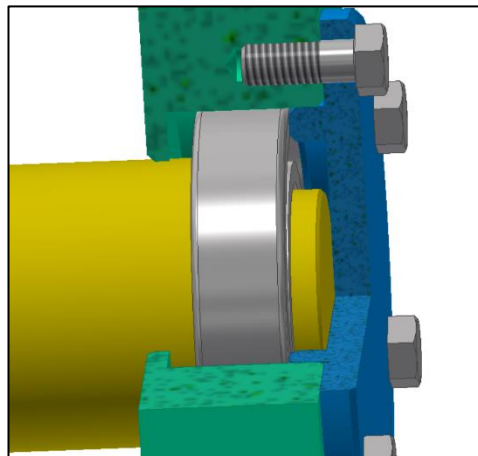
Obr. 37 Návrh hřídele kličky se základními rozměry a polohou funkčních prvků

návrhového součinitele i součinitelů tvaru drážky pro pero jako u výpočtu hřídele kyvadla, roven 17,48 mm. Opět se jedná o průměr vepsané kružnice mezi dno drážky pro pero a protilehlý okraj hřídele, viz obr. 35. Konstrukční úpravy jsou zvoleny s ohledem na průběh namáhání a funkci hřídele při provozu. Návrh hřídele klíčky je pak na obr. 37.

5.8 Uložení hřídele kyvadla a hřídele klíčky

Hřídel kyvadla je uložena ve dvou kuličkových ložiscích běžné jakosti. Ložiska jsou vnitřním kroužkem opřena o osazení na hřídeli a na vnější kroužek dosedají čela víček přišroubovaných k domečku ložiska. Zabraňují tak posunutí hřídele v axiálním směru. Domeček je přimontovaný ke svařovanému rámu zkušebního zařízení. Částečný řez uložením je na obr. 38.

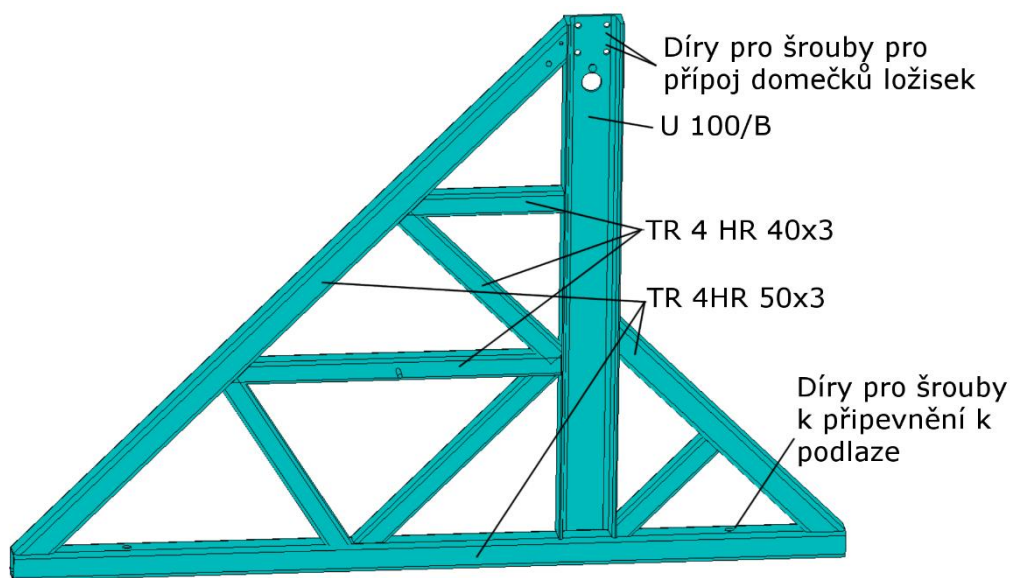
Hřídel klíčky je uložena v jediném kluzném ložisku a proti posunutí je ve výchozí poloze zajištěna z jedné strany pružinou a z druhé osazením. V poloze při zvedání kyvadla je zajištěna zástrčkou, která je přišroubována k rámu zařízení.



Obr. 38 Uložení hřídele kyvadla

5.9 Rám zařízení [19]

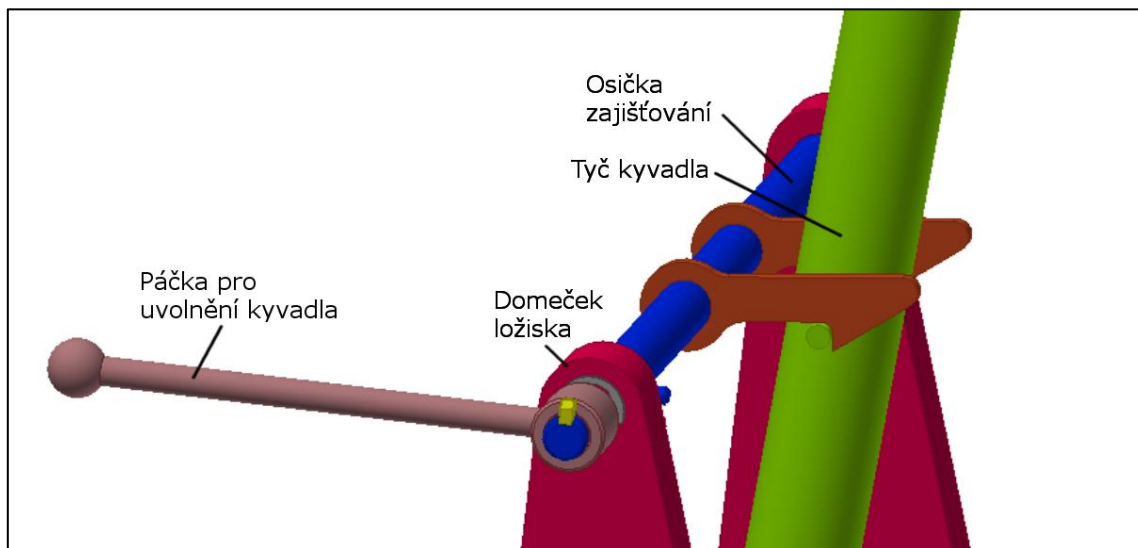
Rámy normalizovaných zařízení jsou vyráběny odléváním z litiny, která velmi dobře dokáže tlumit vibrace a zároveň zaručuje tuhost rámu. U navrhovaného zařízení můžeme připustit drobné nepřesnosti ve výsledcích měření, dané menší tuhostí a vibracemi zařízení. Tyto nepřesnosti v nich nebudou hrát významnou roli. Proto byl rám z litiny nahrazen svařovaným z běžných ocelových profilů a ke zvýšení jeho tuhosti použita příhradová konstrukce. Rám je dělán s většími rozměry ve směru rázu kladiva ze dvou zrcadlově stejných polovin. Nahoře jsou k němu přišroubovány domečky pro ložiska hřídele kyvadla. K levé polovině je navíc umístěna západka rohatky, hřídel klíčky a záračka proti jejímu posunutí při zvedání. Aby nedošlo k naklopení celého zařízení při zkoušce, musí být rám pevně přikotven k podlaze šrouby nebo závitovými tyčemi s maticemi. Obě poloviny rámu jsou přivařeny k základové desce. Část svařovaného rámu je na obr. 39.



Obr. 39 Levá polovina svařovaného rámu

5.10 Zajištění kyvadla ve výchozí poloze

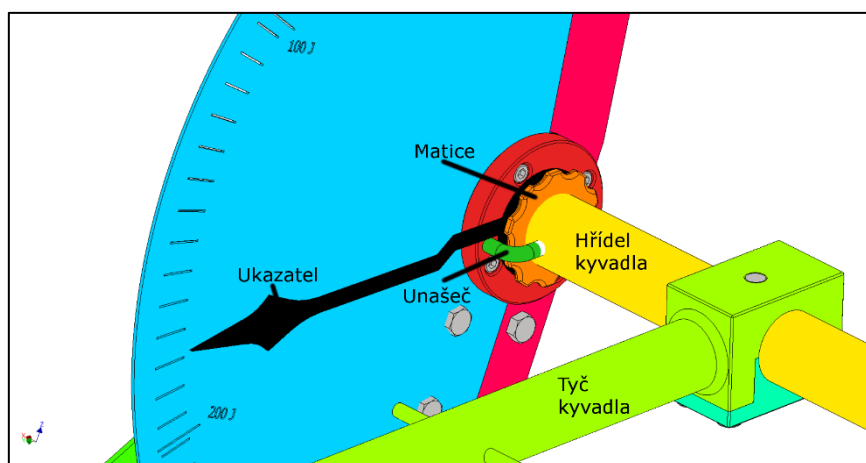
Kyvadlo při provádění zkoušky musí být uvolněno z přesně stanovené polohy. Ta odpovídá úhlu nastavení pádu kladiva $\gamma=77^\circ$. Na osičce, která je uložena v domečcích pro ložiska hřídele kyvadla jsou navařeny dvě zarážky, jenž jsou při zajištění polohy kyvadla v kontaktu s tyčkami svařenými s tyčí kyvadla, viz obr. 40. K uvolnění kladiva dojde prudkým nárazem ruky na páčku spojenou s osičkou zajišťování



Obr. 40 Zajišťování kyvadla ve výchozí poloze

5.11 Měření nárazové práce

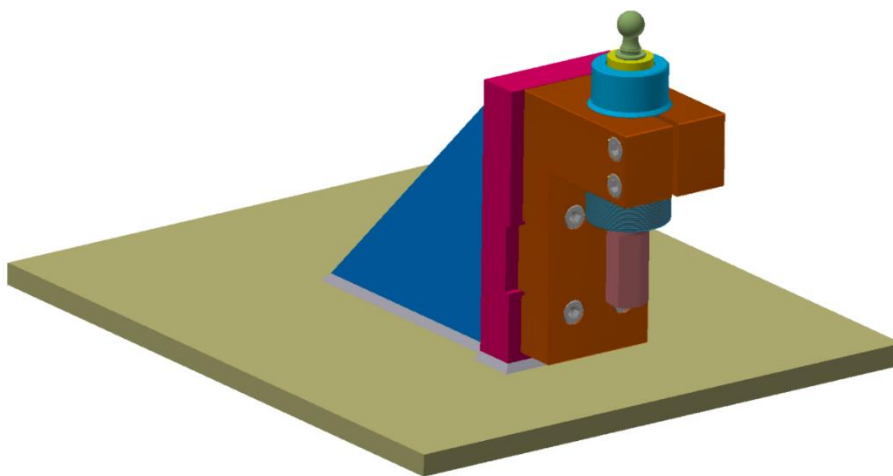
Podle úhlu výkyvu kyvadla se určuje hodnota nárazové práce. Úhel je odměřován pomocí ukazatele, který je vychylován unašečem. Unašeč je součástí hřídele kyvadla. Osa otáčení ukazatele je shodná s osou hřídele kyvadla, ale jejich pohyby nejsou svázány. Ukazatel je maticí přitlačován k protikusů a zůstává díky tření viset v horní úvratí kyvadla. Pod ukazatelem je umístěn plech, na němž je stupnice s převedenými hodnotami úhlu výkyvu na hodnoty nárazové práce. Plech se stupnicí je vyměnitelný kvůli možnosti přenastavit zkušební zařízení na jiné jmenovité energie. Mechanismus pro měření nárazové práce je na obr. 41.



Obr. 41 Mechanismus pro měření nárazové práce

5.12 Upínání zkušební vzorku [4]

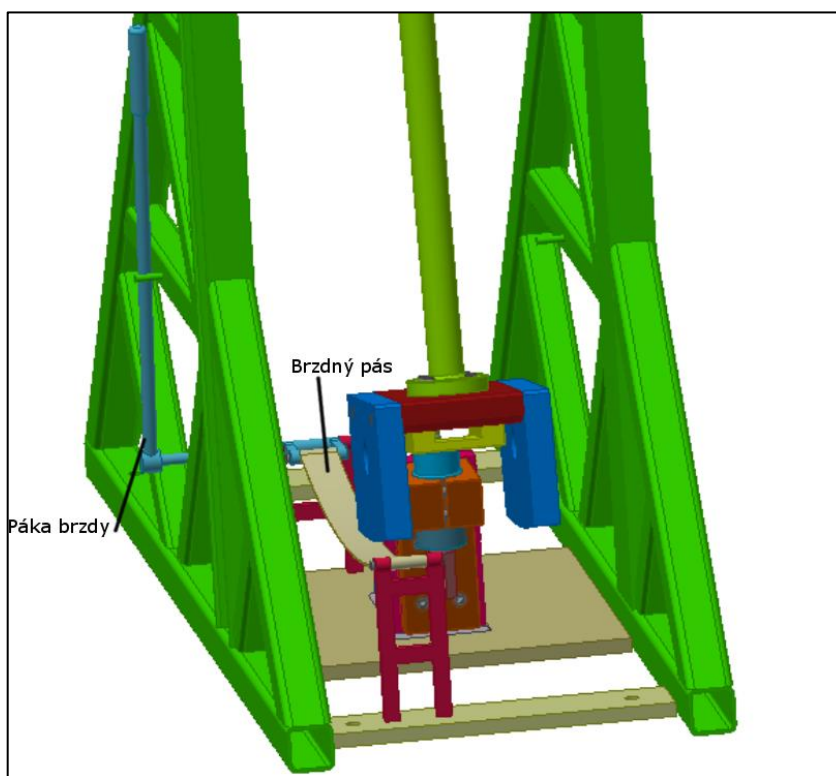
Normalizovaná zařízení mají hmotnost soustředěnou pod rovinu podpor zkušební vzorku, aby nedocházelo k překlápění. U navrhovaného zařízení bude chybějící hmotnost nahrazovat kvalitní připevnění k podlaze. Základová deska musí ale i tak být poměrně mohutná, aby dokázala vydržet rázy od kladiva při provádění zkoušek. Na základové desce jsou přivařeny speciální vzpěry, ke kterým se imbusovými šrouby montuje přípravek pro upnutí kulového čepu. Systém upínání je opět dělán tak, aby se k němu daly v případě potřeby upnout i vzorky s jinými rozměry. Přípravek pro upínání čepu dle zadání opět vychází z přípravku firmy THK zobrazeného na obr. 21. na str. 21. Přípravek umožňuje výškovou stavitelnost vzorku. Při správném nastavení by měla být v momentě dotyku nástroje kladiva s kulovou hlavou osa čepu shodná s osou tyče kladiva a zároveň by měla procházet středem vybrání nástroje. Upínání zkušební vzorku včetně základové desky je na obr. 42.



Obr. 42 Upínání zkušební vzorku

5.13 Brzda kyvadla

Po provedení zkoušky bude nutné rozkývané kyvadlo bezpečně a v rozumném čase zastavit. Z tohoto důvodu je zařízení opatřeno brzdou. Brzdného účinku je dosaženo natažením koženého pásu pákou brzdy, který se dostane do dráhy kyvadla a tím ho zastaví. Brzda kyvadla je na obr. 43.



Obr. 43 Brzda kyvadla

5.14 Zhodnocení návrhu zkušebního zařízení [4]

Výsledný návrh zařízení splňuje hlavní požadavek – rychlost zkoušky pro ověření kvality svarového spoje. Návrh je inspirován podobou skutečných Charpy kladiv s konstrukčními úpravami pro testování svaru kulového čepu. Předpokládá se, že pro kulový čep podle zadání bude stačit nastavení zařízení na jmenovitou energii 300 J. Vzhledem k netypickému tvaru vrubu pro zkoušku dle Charpyho však nelze dopředu zcela dobře odhadnout, jak se čep při nárazu kladiva do kulové hlavy bude chovat. Zda-li dojde k porušení čepu v místě svaru, jeho blízkém okolí, nebo jestli se čep jen plasticky nezdeformuje a k rozlomení vzorku vůbec nedojde. Z těchto důvodů se doporučuje před výrobou celého zkušebního zařízení vyrobít nejprve přípravky zohledňující tvar a možnost upínání čepu. Stejně tak vyrobít i speciální nástroj a vhodnost zkušební metody vyzkoušet na některém z průmyslově vyráběných zařízení pro zkoušky vrubové houževnatosti dle Charpyho. Vhodným strojem pro tuto úpravu je například Charpyho kladivo typu PSd 150/300/450. Dále může nastat situace, že kvůli vybrání nástroje podle tvaru kulové hlavy čepu dojde k nepřiměřeně velkým nežádoucím silovým účinkům na zařízení. To by mohlo být eliminováno odstraněním vybrání na nástroji a použitím rovného břitů. Vznikne tím bodový dotyk nástroje a čepu, ale pro tento způsob zkoušení by to mohlo být postačující. Je také doporučeno neumisťovat zařízení do volného prostoru, aby nebylo přístupné z více než ze dvou stran, a navíc ho opatřit zábranami ke znemožnění volného vstupu do dráhy kyvadla vyjma upínání zkušební vzorku. Zároveň by obsluha zařízení měla být proškolená tak, aby při provozu nedošlo k újmě na jejím zdraví nebo k poškození stroje. K nebezpečné situaci by například mohlo dojít při manipulaci s ukazatelem nárazové práce s kyvadlem ve výchozí poloze. Snímky vzhledu modelu zařízení jsou umístěny v přílohách. Součástí práce je koncepční výkres sestavení testovacího zařízení a 3D model ve formátu STEP vytvořený v programu AUTODESK Inventor Professional 2016 umístěný na přiloženém CD.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo navrhnout zkušební metodu nebo zařízení pro rychlé zkoušky svarového spoje. Svarový spoj, který je zkouškám podrobován, se nachází na kulovém čepu táhel stabilizátorů předních náprav osobních automobilů a je vyroben technologií odporového svařování. Proto je první část bakalářské práce věnována obecnému přehledu svařování se zaměřením na metodu svařování elektrickým odporem. V další části práce je představena funkce kulového čepu v osobním automobilu, způsob jeho výroby a druhy kontrolních zkoušek, kterým je podrobován. Následují návrhy variant řešení – metoda s pohybovým šroubem a momentovým klíčem, metoda testování padostrojem a metoda Charpyho kladiva. Z navržených metod byla vybrána jako nejvhodnější poslední metoda fungující na principu zkoušek rázem v ohybu dle Charpyho. Její největší výhodou je možnost získat ze všech navrhovaných variant nejvíc informací o výsledku zkoušky. Na základě této metody bylo navrženo zkušební zařízení vycházející ze skutečných Charpyho kladiv s konstrukčními úpravami pro zkoušení zadaného kulového čepu a s možností měnit jmenovitou energii kyvadla. Aby zařízení vyhovělo zadání, je opatřeno pouze mechanickými prvky. Průběh návrhu byl pravidelně konzultován s firmou THK, která si po předání výkresové dokumentace zajistí výrobu zařízení sama.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ: [26]

1. UŽ TŘETINA INVESTORŮ V KRAJI DĚLÁ DO AUT. TO JE VÝZVA, ALE I RIZIKO. *Magazín Patriot* [online]. Ostrava: Baďura, 2015 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <http://www.patriotmagazin.cz/uz-tretina-investoru-v-kraji-dela-do-aut-to-je-vyzva-ale-i-riziko/>
2. Aféra dieselgate by v roce 2016 neměla mít vliv na evropský automobilový průmysl. *ZET* [online]. Praha: Lagardère Active, 2016 [cit. 2017-02-17]. Dostupné z: <https://www.zet.cz/tema/afera-dieselgate-by-v-roce-2016-nemela-mit-vliv-na-evropsky-automobilovy-prumysl-7286>
3. Čínský automobilový průmysl dále roste, letos vyrobí více nových aut než ten evropský. *Autoforum* [online]. Praha: MotorCom, 2013 [cit. 2017-02-27]. Dostupné z: <http://www.autoforum.cz/bleskovky/cinsky-automobilovy-prumysl-dale-roste-letos-vyrobi-vice-novych-aut-nez-ten-evropsky/>
4. Firemní materiály THK RHYTHM AUTOMOTIVE CZECH a. s., Strojírenská 160, Dačice
5. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu. I.* 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, xii, 516 s. : il. ISBN 80-7204-283-1.
6. NEUMANN, Heinz. *Odporové svařování: Základní principy a poznatky.* Praha, 2013.
7. KROUPOVÁ, Jana. *Svařování elektrickým odporem.* Praha, 2009.
8. PILOUS, Václav. *Materiály a jejich chování při svařování.* 1. vyd. Plzeň: ŠKODA WELDING, 2009.
9. KOUKAL, Jaroslav a KOLEKTIV AUTORŮ. *Materiály a jejich svařitelnost*, 1 vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 292 s. ISBN 80-85771-85-3
10. AMBROŽ, Oldřich a KOLEKTIV AUTORŮ. *Technologie svařování a zařízení*, 1 vyd. Ostrava: Zeross, 2001, 395 s. ISBN 80-85771-81-0
11. Svařování. *ČVUT Fakulta strojní* [online]. Praha, 2014 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: http://users.fs.cvut.cz/libor.benes/vyuka/svarovani/UT_01_Prehled_svarovani_T08.pdf
12. *Rozdělení metod tlakového odporového svařování* [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2017-02-23]. Dostupné z: <http://homen.vsb.cz/~hla80/2009Svarovani/10-21.pdf>
13. Svařování. *Učíme v prostoru* [online]. [cit. 2017-02-13]. Dostupné z: http://uvp3d.cz/drtic/?page_id=2743
14. ČSN EN ISO 10447: *Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů.* 1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2015.

15. Budowa stabilizatora zawieszenia. *Oponeo* [online]. Bydgoszcz: OPONEO, 2010 [cit. 2017-03-18]. Dostupné z: <http://www.oponeo.pl/arttykul/stabilizator-zawieszenia-i-jego-rola-w-przyczepnosci-pojazdu>
16. Finálová hra KPŽ 2013. *Kolo pro život* [online]. Praha: Kolo pro život, 2013 [cit. 2017-03-16]. Dostupné z: <https://www.kolopro.cz/detske-zavody/clanky/7027-finalova-hra-kpz-2013>
17. ŠEVČÍK, Jan. *Návrh staviteľného stabilizátoru prednej nápravy vozu Formule student*. Brno, 2012, 78 s. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=52605. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Petr Porteš, Ph.D.
18. Šroubové mechanismy. *SPS Vítkovice* [online]. Ostrava, 2014 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: <http://www.sps-vitkovice.cz/texty/texty/SPS/SPS%203%20%20Mechanismy%20obecn%C3%A9ho%20pohybu-%20%C5%A0roubov%C3%A9%20mechanismy-UT.pdf>
19. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. Čtvrté doplněné vydání. Úvaly: ALBRA, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
20. SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS, VLK, Miloš (ed.). *Konstruování strojních součástí*. Překlad Martin Hartl. Brno: VUTUM, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-214-2629-0.
21. ČSN ISO 148-1 *Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy – Část 1: Zkušební metoda*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
22. ČSN ISO 148-1 *Kovové materiály – Zkouška rázem v ohybu metodou Charpy – Část 2: Ověřování zkušebních strojů*. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2010.
23. ČSN EN ISO 180 *Plasty – Stanovení rázové houževnatosti metodou Izod*. ZMĚNA A1. Praha: Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2007.
24. Sortiment Ferony. *Ferona* [online]. 2016 [cit. 2017-05-11]. Dostupné z: http://www.ferona.cz/cze/katalog/mat_normy.php
25. HORKÝ, Pavel. *Zařízení na příčné přenášení tyčí*. Brno, 2016, 51 s. Dostupné také z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=128552. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce doc. Ing. Radek Knoflíček, Dr.
26. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. [2017] [cit. 2017-05-24]. Dostupné z: <http://citace.lib.vutbr.cz/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ:

Symbol	Popis	Jednotka
$d_{\min 1}, d_{\min 2}$	Minimální průměr hřídele	[mm]
d_{rk1}, d_{rk2}	Průměr roztečné kružnice	[mm]
d_t	Vnější průměr trubky	[mm]
d_{z2}	Střední průměr závitu	[mm]
d_{3z}	Malý průměr závitu	[mm]
D_t	Vnější průměr trubky	[mm]
E_j	Jmenovitá energie zařízení	[J]
E_{pz}	Potenciální energie závaží	[J]
f_1, f_2	Součinitel smykového tření	[-]
F_{Ay1}, F_{Az1}	Složka rekční síly v ložisku A při zvedání kyvadla	[N]
F_{Ay2}, F_{Az2}	Složka rekční síly v ložisku A při uvolnění kyvadla	[N]
F_{By1}, F_{Bz1}	Složka rekční síly v ložisku B při zvedání kyvadla	[N]
F_{By2}, F_{Bz2}	Složka rekční síly v ložisku B při uvolnění kyvadla	[N]
F_g	Gravitační síla kladiva	[N]
F_o	Osová síla v pohybovém šroubu	[N]
F_{obv}	Obvodová síla	[N]
F_{oo}, F_{or}	Složka síly v ozubení	[N]
F_p	Síla na kličce	[N]
F_{ro}, F_{rr}	Složka síly od západky v rohatce	[N]
g	Gravitační zrychlení	[m.s ⁻²]
h	Výška pádu kyvadla	[m]
h_z	Výška pádu závaží	[m]
h_1	Výška výkyvu kyvadla	[m]
k_n	Návrhový součinitel	[-]
K	Nárazová práce	[J]
l	Délka ramene kyvadla	[m]
l_p	Délka kličky	[m]
l_t	Vzdálenost těžiště kladiva od místa svaru tyče a objímky	[m]
l_1	Vzdálenost středu náboje rohatky a středu ložisku A	[mm]
l_2	Vzdálenost středu náboje oz. kola a středu ložisku A	[mm]
l_3	Vzdálenost osy tyče a středu lož. A	[mm]
l_4	Vzdálenost osy tyče a středu lož. B	[mm]
m_k	Hmotnost kladiva	[kg]
m_{k400}	Hmotnost kladiva pro jmen. energii 400 J	[kg]
m_n	Modul ozubení	[mm]
m_z	Hmotnost závaží	[kg]
M_{k1}	Kroutící moment na hřídeli kyvadla	[N.mm]
M_{oc1}	Max. ohybový moment na hřídeli kyvadla při zvedání	[N.mm]

Symbol	Popis	Jednotka
M_{oc2}	Max. ohybový moment na hřídeli kyvadla při uvolnění	[N.mm]
M_{ot}	Ohybový moment v místě svaru tyče kyvadla a objímky	[N.mm]
M_{oy1}	Max. ohyb. m. na hřídeli kyvadla při zvedání v rovině xy	[N.mm]
M_{oz1}	Max. ohyb. m. na hřídeli kyvadla při zvedání v rovině xz	[N.mm]
M_{oy2}	Max. ohyb. m. na hřídeli kyvadla při uvolnění v rovině xy	[N.mm]
M_{oz2}	Max. ohyb. m. na hřídeli kyvadla při uvolnění v rovině xz	[N.mm]
M_{u1}	Kroutící moment od obvodové síly	[N.mm]
M_{u2}	Kroutící moment od třecí síly	[N.mm]
M_{uc}	Celkový kroutící moment	[N.mm]
P_z	Rozteč závitu	[mm]
Re	Mez kluzu materiálu	[MPa]
R_s	Střední poloměr třecí plochy	[mm]
S_3	Výpočtový průřez šroubu	[mm ²]
v_n	Nárazová rychlost kladiva	[m.s ⁻¹]
z_1, z_2	Počet zubů	[-]
α	Úhel pádu kladiva	[°]
α_σ	Součinitel tvaru drážky pro pero pro normálové napětí	[-]
α_τ	Součinitel tvaru drážky pro pero pro smykové napětí	[-]
β	Úhel výkyvu kladiva	[°]
β_1	Poloviční úhel klínové drážky	[°]
γ	Úhel nastavení pádu kladiva	[°]
γ_1	Úhel stoupání šroubovice	[°]
π	Ludolfovo číslo	[-]
σ_{Dot}	Dovolené napětí v ohybu	[MPa]
σ_{Dt}	Dovolené napětí v tlaku	[MPa]
σ_t	Napětí v tlaku	[MPa]
φ	Třecí úhel v klínové drážce	[°]

SEZNAM OBRÁZKŮ:

Obr. 1 Ukázky z výroby automobilů	10
Obr. 2 Základní rozměry kulového čepu	11
Obr. 3 Letecký snímek továrny	12
Obr. 4 Vstupní brána továrny	12
Obr. 5 Přehled svařování	13
Obr. 6 Schéma bodového odporového svařování	14
Obr. 7 Povrch kovu na vzduchu	14
Obr. 8 Rozložení elektrického odporu při startu svařování	15
Obr. 9 Vývoj svarové čocky a časová závislost elektrického odporu pro nízkouhlíkovou nelegovanou ocel	15
Obr. 10 Bodové svařování	16
Obr. 11 Švové svařování	17
Obr. 12 Výstupkové svařování	17
Obr. 13 Odlupovací zkouška	18
Obr. 14 Sekáčová zkouška	18
Obr. 15 Umístění kulového čepu v osobním automobilu	19
Obr. 16 Otočný stůl podavače svařovacího stroje	20
Obr. 17 Průběh svařovacího proudu v čase při středofrekvenčním svařování	20
Obr. 18 Testovací stroj únavové pevnosti	21
Obr. 19 Vzorek po zkoušce tvrdosti	21
Obr. 20 Vzorek po zkoušce únavové pevnosti	21
Obr. 21 Přípravek pro upnutí čepu	22
Obr. 22 Návrh zkušebního zařízení s pohybovým šroubem.....	22
Obr. 23 Základní návrh padostroje	25
Obr. 24 Schéma Charpyho kladiva	26
Obr. 25 Rozdíl v upínání vzorků a v působení rázové síly	28
Obr. 26 Typy kladiv: vlevo kladivo „C“, vpravo kladivo „U“	29
Obr. 27 Návrh kladiva se zobrazenou polohou těžiště	30
Obr. 28 Nástroj se zvýrazněným břitem.....	30
Obr. 29 Sestava kyvadla	31
Obr. 30 Schéma zvedacího ústrojí.....	33
Obr. 31 Prvky hřídele kličky	34
Obr. 32 Návrh rohatky se západkou	34
Obr. 33 Schéma silového zatížení hřídele kyvadla při zvedání.....	35
Obr. 34 Schéma silového zatížení hřídele kyvadla při zapření západky v rohatce	36
Obr. 35 Návrh hřídele kyvadla se základními rozměry a polohou funkčních prvků.....	38
Obr. 36 Výpočtový průřez hřídele	38
Obr. 37 Návrh hřídele kličky se základními rozměry a polohou funkčních prvků	38
Obr. 38 Uložení hřídele kyvadla	39
Obr. 39 Levá polovina svařovaného rámu.....	39
Obr. 40 Zajišťování kyvadla ve výchozí poloze.....	40
Obr. 41 Mechanismus pro měření nárazové práce	40
Obr. 42 Upínání zkušební vzorku.....	41
Obr. 43 Brzda kyvadla.....	41

SEZNAM TABULEK:

Tabulka 1 Hodnoty hmotností pro dané energie.

Tabulka 2 Chemické složení a charakteristika oceli 19 452. [24]

SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha 1 Snímky 3D modelu testovacího zařízení

Příloha 2 3D model testovacího zařízení ve formátu STEP - na CD

SEZNAM VÝKRESŮ:

Koncepční výkres sestavy testovacího zařízení

BP-01.00

Příloha 1 Snímky 3D modelu testovacího zařízení

